

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robototechniky

**Zásobník puků s podavačem pro výukové RTP
s ABB IRB 140**

Pucks Feeder for Robot Training Cell with ABB IRB 140

Student

Aleš Vysocký

Vedoucí práce

Ing. Václav Krys, Ph.D.

Zadání bakalářské práce

Student: **Aleš Vysocký**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R013 Robotika
Téma: **Zásobník puků s podavačem pro výukové RTP s ABB IRB 140**
Pucks Feeder for Robot Training Cell with ABB IRB 140

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte analýzu demonstrační úlohy třídění puků na výukovém pracovišti s roboty ABB IRB 140. Stanovte požadavky na zásobník a proveďte rešerši obdobných řešených systémů.
2. Navrhněte varianty řešení zásobníku puků a podavače jako periferie výukového pracoviště.
3. Proveďte zhodnocení navržených variant a vyberte tu, která nejlépe splňuje stanovené požadavky.
4. Vybranou variantu rozpracujte do úrovně detailního 3D modelu. Doložte podrobnou technickou dokumentaci včetně návrhových výpočtů a montážního postupu. Výkresovou dokumentaci zpracujte dle pokynů vedoucího práce.
5. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu MS WORD a konstrukční řešení v CAD systému dle pokynů vedoucího.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 2007. 48 s.

ČSN ISO 690 *Informace a dokumentace - Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Praha: Český normalizační institut, 2010.

SKAŘUPA, J.; MOSTÝN, V. *Metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů*. 1. vydání. Košice: Viena Košice, 2002. 190 s. ISBN 80-88922-55-0.

BURKOVIČ, J. *Navrhování robotizovaných montážních linek*. 1. vydání. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2008. 163 s. ISBN 978-80-248-1869-6.

BURKOVIČ, J. *Projektování a provoz RTP*. 1. vydání. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2004. 118 s. ISBN 80-248-0709-2.

DRASTÍK, F. *Technické kreslení I. – pravidla tvorby výkresů ve strojírenství*. 2. vydání. Ostrava: Montanex Ostrava, 2005. 260 s. ISBN 87-7225-195-3.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Krys, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013

prof. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 16. 5. 2013

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 16. 5. 2013

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Aleš Vysocký

Adresa trvalého pobytu autora práce: Sarajevova 1, Ostrava – Zábřeh, 70030

Poděkování

Tato práce byla vypracována s podporou projektu Příležitost pro mladé vězkumníky, reg. č. CZ.1.07/2.3.00/30.0016, podpořeného Operačním programem Vzdělávání pro konkurenceschopnost a spolufinancovaného Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

Děkuji především panu Ing. Václavu Krysovi, PhD. za poskytnuté konzultace při přípravě mé bakalářské práce.

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem zásobníku pro rozšíření demonstrační úlohy třídění puků. Nejprve je analyzováno pracoviště a stávající stav úlohy pro stanovení základních požadavků. Návrhem několika variant je k problému přistoupeno odlišnými způsoby za použití různých technologií. Zhodnocením variant na základě požadavků je jedna vybrána a zpracována do formy 3D modelu. Nakonec je navržen montážní postup.

ANNOTATION

Bachelor thesis deals with mechanical design of pucks feeder to upgrade an existing demonstration task – sorting pucks. At first the workplace and the task are analyzed for setting basic requirements. There are options designed from different point of view using several applicable technologies. Options are evaluated according to requirements. One is chosen and designed into the 3D model. At the end an assembly process is drawn up.

Obsah

Seznam použitého značení.....	9
Úvod.....	10
1 Analýza stávajícího stavu	11
1.1 Laboratoř v centru robotiky	11
1.2 Popis úlohy třídění puků.....	12
1.3 Dopravník	13
1.4 Zásobníky s podavačem	13
2 Varianty řešení.....	14
2.1 Požadavkový list	14
2.2 Koncepce výsuvu tlačky pomocí pneumatického motoru.....	15
2.3 Koncepce výsuvu tlačky pomocí servomotoru.....	16
2.4 Modulární varianta zásobníku	17
2.5 Varianta s posuvnou tlačkou.....	19
2.6 Varianta s rotačním zásobníkem.....	21
2.7 Koncepce pohonu rotačního zásobníku pomocí ozubení	23
2.8 Koncepce pohonu rotačního zásobníku pomocí dělicího mechanismu	24
3 Posouzení variant a výběr optimální	25
4 Detailní rozpracování vybrané varianty	29
4.1 Základní konstrukce	29
4.2 Tlačka pro výsuv puku	30
4.3 Pohon tlačky	32
4.3.1 Experimentální zjištění koeficientu tření.....	35
4.4 Připojení rotačního zásobníku	38
4.5 Zásobníky	39
4.6 Pohon zásobníku	40
4.7 Připojení zásobníku k dopravníku.....	44

4.8	Podpůrná noha	45
4.9	Snímač pro zjištění natočení stolu	45
4.10	Řídicí jednotka.....	46
4.11	Napájení.....	47
4.12	Tlačítkový panel.....	47
5	Montážní postup.....	48
6	Souhrn technických parametrů	50
7	Závěr.....	51
9	Zdroje informací	52
10	Seznam příloh	53

Seznam použitého značení

Označení	Význam	Jednotka
$A_{x,y}$	reakce v kloubu pákového mechanismu	[N]
$B_{x,y}$	reakce v kloubu pákového mechanismu	[N]
$C_{x,y}$	reakce v kloubu pákového mechanismu	[N]
$F_{1x,2x}$	síly v ose x	[N]
$F_{1y,2y}$	síly v ose y	[N]
G	tíhová síla	[N]
J	moment setrvačnosti	[kg.m ²]
L	délka ramene pákového mechanismu	[m]
$M_{1A,2C}$	momenty v kloubech pákového mechanismu	[Nm]
M_a	moment v kloubu pákového mechanismu	[Nm]
M_D	dynamický moment	[Nm]
M_M	potřebný moment motoru	[Nm]
M_s	moment servomotoru pro pohon tlačky	[Nm]
M_S	moment servomotoru pro pohon zásobníku	[Nm]
M_T	třecí moment	[Nm]
N	normálová síla – síla kolmá na třecí plochu	[N]
PWM	Pulse Width Modulation – pulsní šířková modulace	[-]
T	třecí síla – síla tečná s třecí plochou	[N]
d	průměr roztečné kružnice ozubeného kola	[m]
d_a	průměr hlavové kružnice ozubeného kola	[m]
d_b	průměr základní kružnice ozubeného kola	[m]
d_f	průměr patní kružnice ozubeného kola	[m]
f	koeficient tření	[-]
g	tíhové zrychlení	[m.s ⁻²]
i	převodový poměr	[-]
m	hmotnost puku	[kg]
m	modul ozubeného kola	[m]
n	počet puků	[-]
r	poloměr, na kterém jsou puky v zásobníku	[m]
t	čas natočení zásobníku	[s]
z	počet zubů ozubeného kola	[-]
α	záběrový úhel ozubeného kola	[°]
ε	úhlové zrychlení	[rad.s ⁻²]
ρ	zaoblení paty	[m]
φ	úhel natočení pákového mechanismu	[rad]
φ	úhlová dráha	[rad]
φ_r	rozběhová dráha	[rad]
ψ	úhel natočení servomotoru	[rad]
ω	úhlová rychlost	[rad.s ⁻¹]
ω_M	rychlost otáčení servomotoru	[rad.s ⁻¹]

Úvod

Cílem bakalářské práce je návrh periferního zařízení k výukovému robotizovanému pracovišti v centru robotiky Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava. Bude navržen zásobník hokejových puků využívaný při demonstrační úloze třídění puků. Jedná se o vstupní zásobník, který bude dodávat puky na dopravník.

Z několika navržených variant bude vybrán jeden způsob řešení, který nejlépe splní stanovené požadavky. Vybraná varianta bude zpracována do úrovně podrobného 3D modelu s výběrem vhodných konstrukčních prvků. Součástí práce bude dimenzování pohonů a návrh řídicí elektroniky. Bude navržen montážní postup zásobníku.

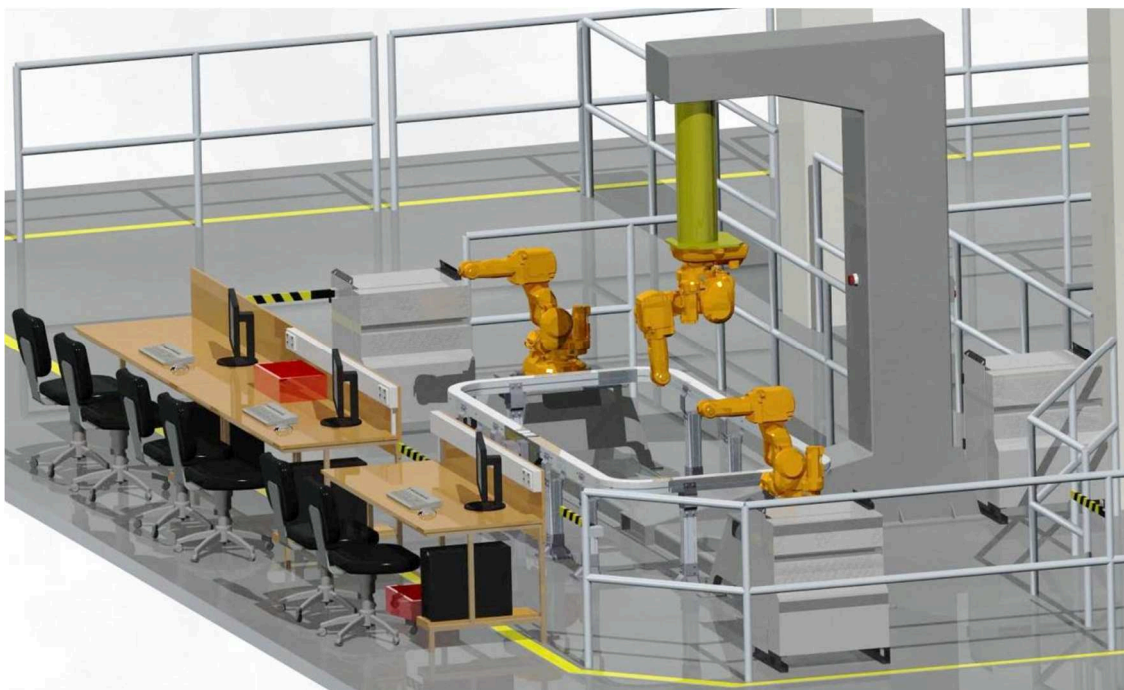
1 Analýza stávajícího stavu

1.1 Laboratoř v centru robotiky

Úloha třídění puků je řešena na výukovém robotizovaném technologickém pracovišti (Obr. 1.1) v centru robotiky Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava. Laboratoř je členěna na několik pracovišť s různými roboty. Jsou zde jak moderní průmyslové roboty, tak školní roboty.

Pracoviště je vybaveno článkovým dopravníkem Bosch Rexroth, systémem průmyslového vidění National Instruments s barevnou kamerou Basler a třemi roboty IRB 140 od firmy ABB, z nichž jeden je při úloze využíván. Dále se na pracovišti nacházejí řídicí jednotky robotů IRC5, počítače pro offline programování a samozřejmě jsou bezpečnostní prvky v tomto případě zábradlí zabráňující vstupu do oblasti působení robotů při jejich činnosti.

V laboratoři je rozveden tlakový vzduch, takže jsou zde vytvořeny podmínky pro použití pneumatických zařízení. Dostupné jsou i zdroje elektrické energie a to jak 230 V, tak 380 V.



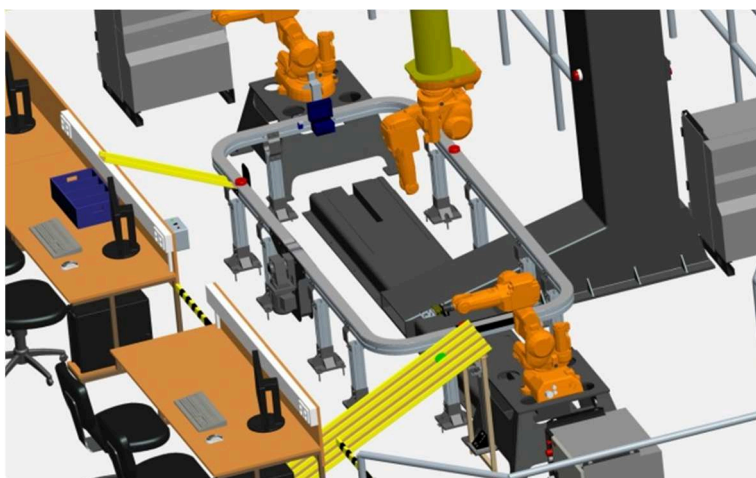
Obr. 1.1 Robotizované technologické pracoviště

1.2 Popis úlohy třídění puků

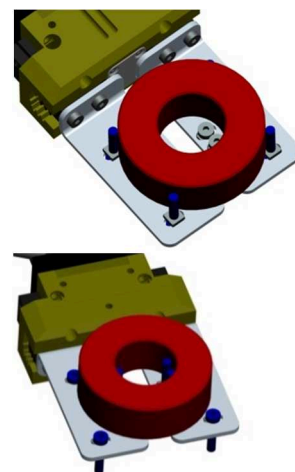
Tato úloha vznikla v rámci semestrálního projektu Bc. Jakuba Mžíka, Bc. Tomáše Chamrada a Bc. Martina Soukupa. Hlavní myšlenkou úlohy je rozpoznání barvy a typu hokejového puku pomocí průmyslového vidění a následné předání instrukcí robotu, který puk vhodně uchopí a přemístí nad příslušný skluz, kde jej upustí.

K realizaci bylo potřeba pracoviště upravit (Obr. 1.2) přidáním skluzů, zarážky pro puky čekající na odebrání a také nástavce pro pneumatický efektor k uchopování puků (Obr. 1.3).

Puk po vhození na skluz sjede na dopravník, na němž pokračuje ke kameře. Pomocí optické spouště se kamerou pořídí snímek puku a začne vyhodnocování. V úloze jsou použity čtyři varianty puku – červený plný, červený s dírou, zelený plný a zelený s dírou. Systém průmyslového vidění tedy nejprve rozlišuje, zda je puk plný nebo s dírou a následně detekuje barvu puku. Po projetí pod kamerou puk pokračuje až k zarážce u průmyslového robotu, kde se opře o koncový spínač a je robotem odebrán.



Obr. 1.2 Úprava pracoviště



Obr. 1.3 Uchopování puků

Úkolem bakalářské práce je rozšíření této úlohy, kde místo skluzu pro přísun puků na pás, kam musí člověk puk položit, bude navržen zásobník, který bude dálkově ovládán a po vyslání signálu vypustí na dopravník zvolený puk.

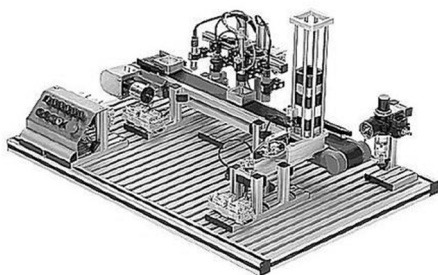
1.3 Dopravník

Dopravník od firmy Bosch Rexroth z řady VarioFlow S je řetězový dopravník tvořený hliníkovým profilem s vodícími a upínacími kolejnicemi, podpůrnými nohami, pohonnou jednotkou a plastovým článkovým řetězem. Je to variabilní systém, který se může skládat mimo rovných úseků i z různých druhů zakřivení jak horizontálních, tak i vertikálních o rozlišných poloměrech. Je také možnost zvolit z několika rozměrů pásu. Dopravník splňuje přísné hygienické předpisy pro využití v potravinářském průmyslu, je lehce smontovatelný, čistitelný a téměř bezúdržbový [2]. V laboratoři je vytvořen uzavřený horizontální dopravník s pásem o šířce osmdesát milimetrů.

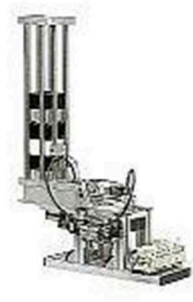
1.4 Zásobníky s podavačem

Na internetu je k nalezení jedno podobné řešení zásobníku s označením *Magazine Unit* [3]. Je také součástí výukového pracoviště *Conveyor station* (Obr. 1.4). Zajišťuje přísun vzorku na dopravník, který vzorek přesune k detekční jednotce zkoumající materiálové vlastnosti.

Zásobník (Obr. 1.5) je jedním z modulů tohoto pracoviště. Je to vertikální zásobník s kapacitou deseti vzorků. Je vytvořen z různých hliníkových profilů. Spodní vzorek je pneumaticky vysouván na dopravník. Senzoricky se snímá, jestli se v zásobníku nacházejí vzorky a také koncová poloha pístu. Modul obsahuje dvoucestný pneumatický válec a 5/2 ventil. Zásobník se uchycuje za podstavný díl na pracovní desku zasunutím do kolejniček, takže se dá variabilně umístit a je možné použít i více zásobníkových modulů.



Obr. 1.4 Výukové pracoviště



Obr. 1.5 Zásobník

2 Varianty řešení

2.1 Požadavkový list

Požadavkový list (Tab. 2.1) je sestaven z nejdůležitějších podmínek pro návrh konstrukce. Vychází jak ze zadání bakalářské práce, tak ze samotného principu úlohy, do které je zásobník zařazen. Další podmínky vycházejí z možností pracoviště.

Zásobník je určený pro standartní hokejové puky. Průměr puku, tři palce, odpovídá zhruba 76,2 mm a výška 1 palec, což je asi 25,4 mm. Hmotnost puku je 170 gramů. V úloze jsou některé puky odvrtné. Nyní je úloha demonstrována se čtyřmi druhy puků, minimální počet zásobníků je tedy čtyři. Každý zásobník pojme maximálně deset puků.

Zástavbové rozměry vychází z polohy pracoviště a prostoru kolem dopravníku, kde bude zásobník přimontován. Zásobník nesmí zasahovat do pracovního prostoru ostatních zařízení ani omezovat osoby, které se pohybují na pracovišti.

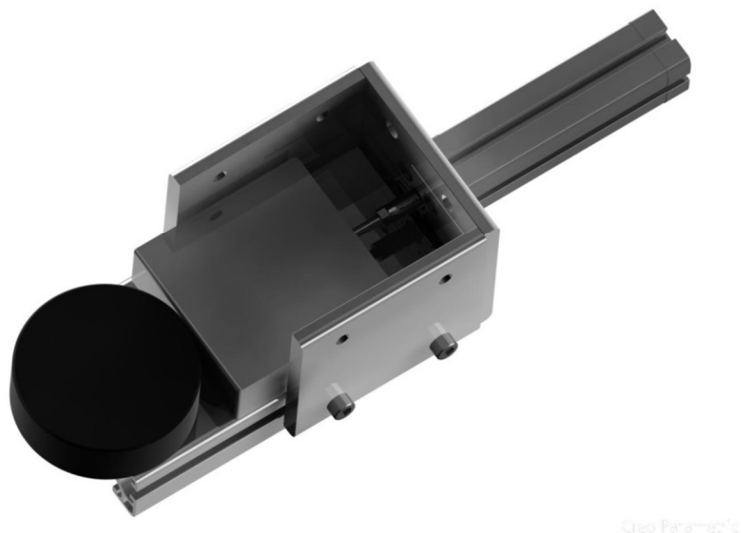
Dostupnost energií je důležitá pro dimenzování pohonu zásobníku. V laboratoři je zdroj elektrické energie s napětím 230 V a 380 V. Je zde také rozveden tlakový vzduch o tlaku 0,5 MPa.

Poslední položkou jsou náklady, které je samozřejmě potřeba minimalizovat.

Tab. 2.1 Požadavkový list

Požadavek	Popis
Objekt manipulace	Hokejový puk (Ø76 x 25 mm)
Počet puků v zásobníku	10
Počet zásobníků (typů puků)	4
Zástavbové rozměry (v × š × h)	500 x 750 x 400 mm
Použití kompatibilních profilů	Napojitelnost na profil dopravníku a maximální využití standardizovaných hliníkových profilů
Použití dostupných energií	Elektřina: 230 V, 380 V Tlakový vzduch: 0,5 MPa
Cena	Minimální, do 20000 Kč/zásobník

2.2 Koncepce výsuvu tlačky pomocí pneumatického motoru



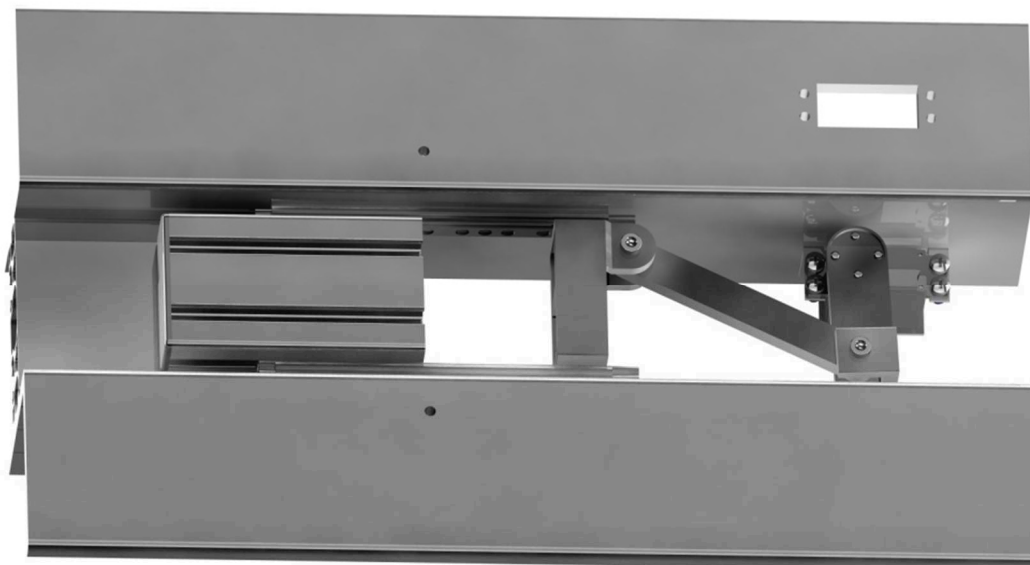
Obr. 2.1 Tlačka s pneumatickým pohonem

Díky rozvodu tlakového vzduchu v laboratoři, je možné k výsuvu tlačky použít pneumatický válec. Z pneumatických válců je optimální kompaktní varianta. Tyto válce mají nejmenší délku. Na obrázku (Obr. 2.1) je kompaktní válec od firmy Festo. Dvojčinný válec zajišťuje vysunutím pístnice pohyb tlačky z výchozí polohy směrem vpřed, čímž je vytlačen puk na dopravník. Zasunutím pístnice se tlačka vrací do výchozí polohy. K dvojčinnému válci je ještě třeba vybrat vhodný 5/2 ventil, redukční ventil s filtrem a tlumič hluku na výstup.

Z čela válce jsou díry se závitem, kterými je válec připojen k zadnímu profilu. Tlačka jezdí po základním profilu, z boku vymezují prostor pohybu tlačky bočnice a shora je ještě jeden profil, který je v obrázku skryt, aby šel vidět prostor s tlačkou. I při vysunutí je část tlačky v tomto vymezeném prostoru, aby nedošlo ke vzpříčení. Základní profil je polepen kluznou páskou s velmi nízkým koeficientem tření.

Výhodou tohoto řešení je, že pohon vykonává translační pohyb stejně jako tlačka, není tedy potřeba žádného převodového mechanismu. Nevýhodou je poměrně vyšší cena všech potřebných komponent pohonu.

2.3 Koncepce výsuvu tlačky pomocí servomotoru



Obr. 2.2 Výsuv tlačky pomocí servomotoru

Výsuv tlačky je realizován pomocí servomotoru. Na obrázku (Obr. 2.2) je již pohon navržen pro jednu z variant. Rotační pohyb servomotoru je pomocí pákového mechanismu převáděn na translační pohyb tlačky. Rozsah rotace servomotoru je 180° , ten je převeden na rozsah posuvu tlačky 100 mm.

Servomotor je připojen k bočnici. Na výstupním kole servomotoru je přišroubován první díl pákového mechanismu. Vzdálenost osy motoru a šroubu, tvořícího čepové spojení s druhým táhlem je 50 mm, což vyvoluje zdvih tlačky 100 mm, ten však není využíván plně, aby se servomotor nedostával až na mechanické dorazy.

Pákový mechanismus je složen ze tří částí vyrobených technologií 3D tisku. První část připojena k motoru tedy vyvoluje velikost zdvihu, druhý díl zajišťuje připojení pákového mechanismu k lineárnímu vedení, na kterém je napojena i tlačka. Třetí díl je táhlo, které předchozí dva díly spojuje. Mezi tlačkou a bočnicemi je lineární vedení, které dovoluje tlačce pouze předozadní pohyb, pákový mechanismus tedy není namáhán nějakým nežádoucím ohybem. Tlačku zde tvoří profil s bočními drážkami o šířce 60 mm.

Výhodou tohoto řešení je cena servomotoru, která je nižší než cena pneumatického motoru s příslušenstvím. Servomotor je v tomto případě i jednodušší na obsluhu a ovládání. Nevýhodou je potřeba převodu pohybu z rotačního na translační.

2.4 Modulární varianta zásobníku



Obr. 2.3 Modulární zásobník

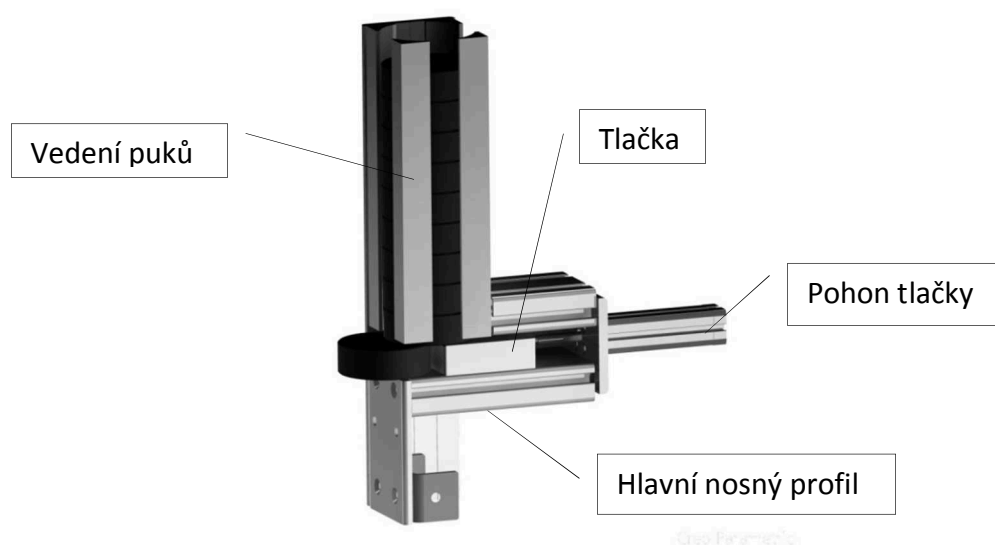
První varianta vychází z řešení nalezeného na internetu. Je to vertikální zásobník pro jeden sloupec puků. K vytlačení puku na dopravník je použit pneumatický pohon. Pohon je přímo v ose posuvu tlačky, nevznikají tedy momenty působící na píst, které by se musely odstranit vedením. Hlavní nosná struktura – základna – je profil 80x32 mm, který má z boku a zespod drážky pro matice. Shora, kde se pohybuje tlačka, je profil hladký. Na bocích jsou vertikálně přimontované profily sloužící jako zásobník puků. Tyto profily mají šířku 80 mm, vzniká tedy prostor o půdorysu 80x80 mm, ve kterém se pohybují puky o průměru 76,2 mm. Výška zásobníku je koncipována na 10 puků.

Zásobník je uchycen k dopravníku za profil, který je zepředu přimontován k základně a pro zvýšení tuhosti ještě přes L-spojky k vertikálním bočnicím. Pohon zásobníku, tedy pneumatický motor je namontován k profilu tvořícímu zadní kryt mechanismu. Zásobník ještě tvoří horizontální bočnice a horní profil nad prostorem s tlačkou, které však plní pouze úlohu krytí a vymezují prostor pohybu tlačky.

Důležitým prvkem zásobníku je tlačka, která vytlačuje puk na dopravník. Tlačka musí být delší než průměr puku, protože při vysunutí vjede pod puk, který bude vytlačen v dalším cyklu a podpírá jej, aby nespadl a nevzpříčil se. Tlačka je o něco nižší než puk, aby tlačila jen do nejspodnějšího puku, ale je dostatečně vysoká, aby další puk neměl možnost se při výsuvu naklopit. Tlačka je vyrobena z hliníkového profilu s tím, že by byly vytvořeny zespod plastové kluzné plošky nebo válečky ke snížení tření.

Druhou variantou je celou tlačku vyrobit pomocí 3D tisku s tím, že kvůli úspoře materiálu by byla pravděpodobně uvnitř dutá.

Jelikož by při realizaci nebyl použit pouze jeden, ale více zásobníků vedle sebe není vhodné umístit ventil a řídicí elektroniku ze strany zásobníku, ale je možné umístění přímo na boku válce, kde vybraný kompaktní válec od firmy Festo je k tomu i uzpůsobený nebo připojení těchto nezbytných součástí pod hlavní nosný profil, případně shora na vrchní krycí profil. Na těchto místech jsou i drážky, které můžou sloužit k upnutí.

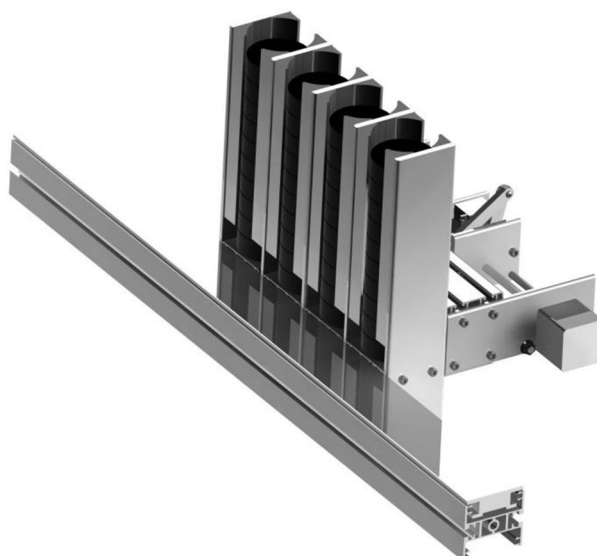


Obr. 2.4 Modulární zásobník

Na obrázku (Obr. 2.4) jsou odejmuty bočnice, aby šel vidět princip výsuvu. Puky v zásobníku jsou vedeny tvarovým vedením, které blokuje předozadní pohyb.

Výhodou tohoto řešení je rychlá reakce zásobníku. Puk je vyslán na dopravník hned, jakmile je zmáčknuto tlačítko. Zásobník také může být libovolně rozšířen a nemusí být všechny moduly napojeny na dopravník v jednom místě. Nevýhodou je nutnost pohonu pro každý z modulů. Každý zásobník má vlastní nosnou konstrukci, pohon a krytí, znamená to tedy i vyšší hmotnost.

2.5 Varianta s posuvnou tlačkou



Obr. 2.5 Zásobníky s posuvnou tlačkou

Druhou variantou je poměrně odlišné řešení, kde pro čtyři zásobníky stačí pouze jedna tlačka s pohonem, která se přemisťuje k zásobníku, z něhož se má vytlačit puk na dopravník. Tlačka se pohybuje na speciálním vozíku pomocí pohybového šroubu, který pohání krokový motor. Pro větší přesnost a snížení namáhání pohybového šroubu jsou zde ještě dvě tyče sloužící jako vedení. Vozík se vrací vždy do výchozí polohy uprostřed zásobníku, aby byla průměrná doba najetí do pozice s požadovaným pukem co nejkratší.

Výsuv tlačky zajišťuje servomotor s pákovým mechanismem pro převedení rotačního pohybu na translační. Pákový mechanismus je připojen k tlačce, která je přimontována přes lineární vedení k vozíku. Výchozí poloha tlačky je stejně jako v předchozí variantě v koncové poloze dál od dopravníku. Při požadavku vysunutí tlačka pohybem vpřed vytlačí puk na dopravník. Oproti koncepci použité v další variantě je zde servomotor uložen naležato a pákový mechanismus pracuje ve vertikální rovině. Je to z důvodu, že nad vozíkem je prostor, který to umožňuje a také výstup servomotoru by se dal umístit do roviny tlačky, což je potřebné pro pohyb v horizontální rovině, jen na úkor prodloužení vozíku z důvodu přítomnosti vedení a pohybového šroubu. Vozík a tlačka jsou užší a tak by se nemohla ani použít páka pro 100 mm výsuv tlačky.

Toto řešení má pouze jeden pohon pro všechny čtyři zásobníky. Pohon je nejdražší komponenta, dále je zde významná úspora materiálu díky tomu, že vnitřní stěny vertikálních držáků puků jsou společné, úspora spojovacího materiálu, to vše znamená snížení ceny, hmotnosti a u pohonů navíc snížení možnosti poruchy a náročnosti řízení.

Pro pohyb posuvné tlačky je potřeba zajistit přesné polohování, aby se při vysunování tlačky nacházel vozík za pukem a tlačka nenarazila do některé z příček zásobníku. Krokový motor s enkodérem, který už bývá zabudován přímo v motoru, zajistí najetí do žádané polohy. Signál potom vyhodnotí řídicí jednotka. Při zapnutí stroje je však nejprve nutné dostat vozík do výchozí polohy, k tomu slouží koncový mechanický spínač na jednom z bočních profilů. Při sepnutí tohoto spínače řídicí jednotka zjistí, že je vozík v koncové poloze, proběhne kalibrace a tlačka je přesunuta do polohy výchozí. Na obrázku (Obr. 2.5) je naznačeno použití krokového motoru.

Sloupce puků jsou v přední části celé konstrukce, a tak je těžiště podobně jako u předchozí varianty co nejbližší dopravníku a nezatěžuje ho tolik ohybovým namáháním. Přichycení zajišťují speciální šrouby, které se nasunují do drážky dopravníku, ty procházejí profilem na přední stěně zásobníku a jsou zajištěny maticí. V zadní části je mechanismus tlačky volně v prostoru. Pokud by byl zásobník namontován v místě pohybu osob, bylo by vhodné přidat plechové krytí nebo krytí z plexiskla, aby nedošlo k poškození mechanismu nebo k úrazu.

Varianta je koncipovaná pro pevný počet zásobníků, na obrázku (Obr. 2.5) jsou to čtyři. Vedení puků je stejné jako v předchozí variantě, tedy pomocí tvarových lišt, které blokují předozadní pohyb, který by boční profily nezachytily. Použité materiály jsou hliník – profily, ocel – pohybový šroub, spojovací materiál a vedení tlačky a některé komponenty, které nejsou tolik namáhané, mohou být z plastu.

2.6 Varianta s rotačním zásobníkem



Obr. 2.6 Rotační zásobník

Třetí varianta opět využívá pouze jednu tlačku s pohonem pro výsuv puku ze všech zásobníků. Stejně jako v předchozí variantě je zásobník určen pro pevně daný počet druhů puků, zde je to šest. Na tělese s pohyblivou tlačkou je na axiálním kuličkovém ložisku upevněn rotační zásobník, ten se natáčí podle toho, který puk má být vypuštěn na dopravník.

Režim tlačky je zde opačný. Výchozí poloha je “vysunuto“, tedy tlačka je blíž k dopravníku. V této poloze podpírá puky, které přes ni přejíždějí. Je tedy nutné zajistit přesnost montáže a možnou seřiditelnost polohy tlačky, aby zde nevznikala hrana, o kterou by se puky mohly zasekávat. Žádaný puk najede nad tlačku, ta se pomocí servomotoru zasune, puk spadne do prostoru před ni a vrácením do výchozí polohy je puk vysunut na dopravník. Prostor před tlačkou je navržen tak, aby se tam vešel pouze jeden puk a tlačka se nemohla zaseknout o puk nad ním.

Konstrukce rotačního zásobníku vychází z podoby vrhaček asfaltových holubů pro střelecké sporty. Použitím lehkých materiálů jako je hliník a polypropylenových trubek, které jsou upevněny pomocí závitových tyčí M4, je dosaženo nízké hmotnosti. Díky minimalizaci hmotnosti vzniká menší setrvačný moment, který je jedním z parametrů pro dimenzování pohonu. Celkově je potřeba dbát na nízkou hmotnost, aby zásobník tolik nezatěžoval dopravník ohybovým namáháním.

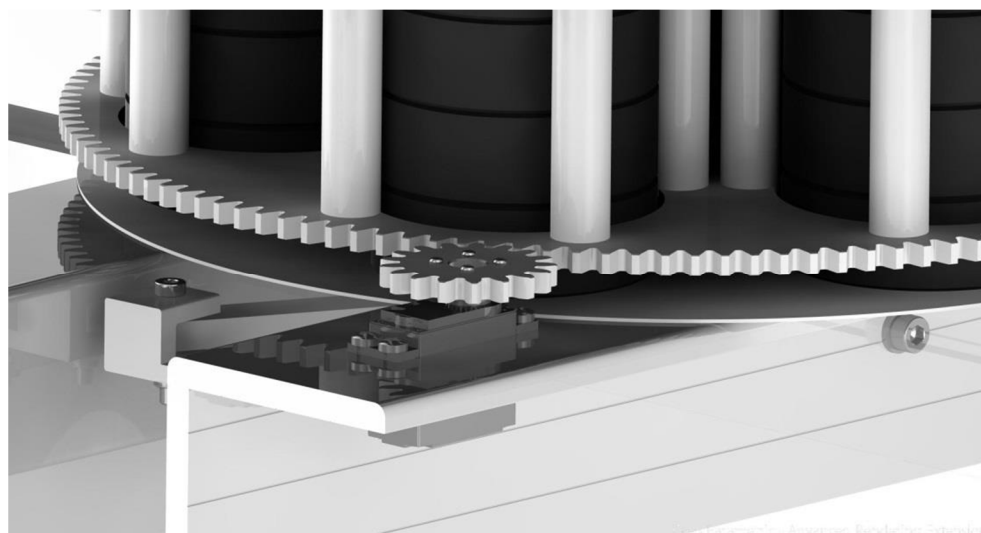
Rotační díl nenese hmotnost puků, ty leží na plechu pod ním. Při pohybu spodní kruhová deska tlačí do boční strany puku a pouze ho přesouvá. Puky jsou v zásobníku vždy vedeny mezi čtyřmi trubkami, aby nemohly vypadnout. Zásobník je dimenzován na maximálně deset puků v každém sloupci. Zásobníky se plní ve všech variantách shora. Je vždy potřeba dbát, aby puky byly vloženy ve správné poloze a žádný se nepřičil. U této varianty je potřeba plnit vždy jen sloupec, který se nachází nad tlačkou. Dopad puku z výšky by mohl poškodit plech, po kterém kloužou.

Zásobník se otáčí díky servomotoru, který je upevněný k jedné z bočnic, jehož krouticí moment je přenášen ozubením na rotační část konstrukce. Z důvodu kontinuálního otáčení je odpojen zpětnovazebný potenciometr a je třeba sledovat polohu zásobníku, zda je natočen v žádané pozici. Puky jsou rozmístěny po 60° v kruhovém zásobníku, to tedy dává šest možných žádaných poloh. Tyto polohy jsou nacházeny senzory. Jedna z poloh musí být opět referenční a výchozí, aby se řídicí jednotka mohla kalibrovat.

Těleso s pohyblivou tlačkou tvoří základní nosný profil s bočními drážkami, ke kterým jsou přimontovány bočnice. Bočnice jsou hliníkové profily tvaru L, aby podpíraly pomocný ocelový plech, který je pod zásobníkem a zajišťuje volné klouzání puků. Zásobník je k dopravníku připojen opět pomocí speciálních šroubů nasunutých v drážce dopravníku. Šrouby procházejí profilem tvaru L upnutým zespod k základnímu profilu a jsou zajištěny maticemi. Tato varianta má ze všech nejmenší zástavbové rozměry vzhledem k počtu zásobníků.

Nevýhodou varianty může být doba od vyslání signálu pro výsuv puku po vytlačení puku na dopravník. Správným návrhem řízení se však dá docílit, že se zásobník pro vysunutí žádaného puku otočí o maximálně tři šedesátistupňové úseky. Zásobník slouží jako periferní zařízení při demonstrační úloze, je tedy důležité, aby zapůsobil na přihlížející a předvedl různé technologie.

2.7 Koncepce pohonu rotačního zásobníku pomocí ozubení



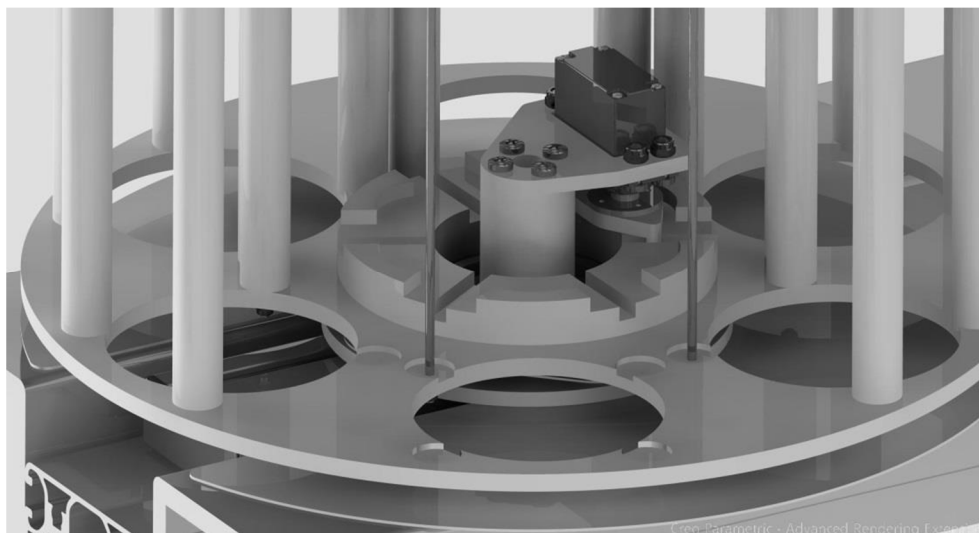
Obr. 2.7 Pohon pomocí ozubení

Rotace zásobníku je zajištěna ozubeným převodem. Na spodní hliníkové desce zásobníku je vyfrézováno ozubení. Pastorek je namontován na výstupní kolo servomotoru, který je upraven pro kontinuální rotaci. Díky velkému rozdílu počtu zubů vzniká převodový poměr, který umožňuje použít standartní servomotor. Servomotor je vložen do vyfrézované drážky v bočnici. K upnutí má přírubu se čtyřmi dírami pro šrouby M4.

Natočení zásobníku musí být sledováno senzoricky. Senzor se nachází uprostřed zásobníku a je realizován pomocí analogové Hallovy sondy. Impuls k zastavení není skokový, ale postupně narůstá, což umožňuje plynulé zastavování motoru. Chod motoru je obousměrný, aby bylo dosaženo nejkratších možných časů vysunutí puků.

Výhodou této koncepce je, že může být díky známým vzorcům stanoven poměrně přesně převodový poměr a dimenzován pohon podle potřeby. Ozubení se také vyrábí s vysokou přesností a při dodržení přesnosti i při montáži by neměly vzniknout větší vůle a tím pádem nebude docházet k rázům a měl by být zajištěn hladký chod.

2.8 Koncepce pohonu rotačního zásobníku pomocí dělicího mechanismu



Obr. 2.8 Dělicí mechanismus

Pohon zásobníku je navrhnout na základě ženevského mechanismu. Disk připojený k zásobníku má dvě funkční úrovně. Ve spodní úrovni je vyfrézováno šest drážek po 60° ve kterých jezdí čep speciálního pastorku připojeného k výstupnímu kolu servomotoru. Na jednu otáčku servomotoru se tedy stůl otočí o 60° .

Horní úroveň je zde tvarový zámek, který mechanismus zamyká v polohách, kdy je puk připraven k vysunutí. Na opačné straně pastorku než je čep, se nachází kulatá část, která zapadá do kulatých vybrání disku, když se zásobník neotáčí.

Celý pohon je skryt uvnitř zásobníku a je tedy chráněn před vnějšími vlivy. Nevýhodou je, že pro mechanismus nejsou dány rozměry pro dimenzování nebo vztahy pro stanovení převodového poměru a tím pádem dimenzování motoru. Vše by se muselo experimentálně ověřit. Mohlo by také docházet k opotřebení drážek disku a čepu pastorku, tím pádem by byla potřeba použít otěruvzdorné materiály. Z přibližného výpočtu vychází, že by musel být použit silnější servomotor, protože převodový poměr mechanismu není tak vysoký.

Protože je opět požadován kontinuální chod, musí být vždy při spuštění servomotor natočen do výchozí pozice. Navíc je potřeba zjistit, který zásobník je aktivní. V této variantě jsou tedy zapotřebí jen pro pohon senzory dva.

3 Posouzení variant a výběr optimální

K posouzení variant byla použita vícekritériální analýza. Ta posuzuje varianty na základě vybraných kritérií. Bylo stanoveno celkem šest kritérií zásadních pro zadanou úlohu. V tabulce je označena modulární varianta s pneumatickým pohonem písmenem A. Písmeno B zastupuje variantu s posuvnou tlačkou a třetí varianta s rotačním zásobníkem je označena písmenem C.

Tab. 3.1 Stanovení kritérií pro výběr optimální varianty

označení	kritérium	charakteristika	A	B	C
K1	použité pohony (4 zásobníky)	Pohonné jednotky pro 4 zásobníky	4x pneu válec	krokový m. servo	2x servo
K2	složitost konstrukce	Náročnost výroby a montáže	nízká	vyšší	vyšší
K3	efektivnost	Demonstrace technologie pro výukové účely	nízká	vyšší	vyšší
K4	náročnost řízení	Obtížnost řídicího obvodu	nízká	vyšší	vyšší
K5	rozšiřitelnost (modulárnost)	Možnost proměnlivého počtu druhu puků	modulární	pevný	pevný
K6	cena pohonů (4 zásobníky)	Cena nejdražší položky pro srovnání	24 000 Kč	3 000 Kč	2 500 Kč

První kritérium je použití pohonů. Pohony jsou zásadním prvkem celé konstrukce hned z několika hledisek. Cena je řešena zvlášť. Pohon je však také zásadní součástí, co se týče hmotnosti, údržby, možnosti poruchy a spotřeby energie.

Kritérium označené jako K2 porovnává složitost konstrukce. Zde je nahlíženo na samotnou výrobu a montáž zásobníku. U řady spojů je nutno dbát na přesnost a lícování, aby vše fungovalo a nedošlo k poškození. Je zde zohledněno také použití složitějších konstrukčních prvků.

K3 je posouzení z hlediska demonstračních účelů úlohy. Je to schopnost zaujmout přihlízejícího. Otevřenost mechanismu a předvedení různých technologií je také zahrnuto do tohoto kritéria.

Čtvrtým hlediskem je náročnost řízení. Ta je dána počtem pohonů. Při použití více pohonů pro výsuv je nutná synchronizace a rychlé najetí do požadované polohy nejkratší cestou. Řídicí jednotka musí umět správně reagovat na signály ze snímačů.

Předposledním parametrem pro hodnocení je rozšiřitelnost konstrukce. Úloha je nyní řešena pouze se čtyřmi druhy puků, ale jistá flexibilita může být výhodou. U některých variant je rozšíření možné a jiné jsou navrženy pro pevný počet zásobníků.

Nakonec je řešena cena. Ta je samozřejmě vždy jedním z nejdůležitějších faktorů. Posuzuje se zde cena pohonů jakožto zásadní položky celé konstrukce.

Kritéria nabývají hodnot 1 až 6 podle toho, nakolik se ztotožňují s danou variantou. Významnost kritérií je porovnána na stupnici od 1 do 2, podle zhodnocení metodou porovnání v trojúhelníku párů. V tabulkách (Tab. 3.2) a (Tab. 3.3) je uveden význam čísel při hodnocení.

Tab. 3.2 Úroveň kritéria

úroveň kritéria	
vysoká	6
dobrá	5
průměrná	4
nízká	3
nevyhovující	2
nepříznivý stav	1

Tab. 3.3 Významnost kritéria

významnost	
nejvyšší	2
nejnižší	1

V tabulce (Tab. 3.4) jsou varianty ohodnoceny podle kritérií. Úroveň kritéria je přiřazena podle tabulky (Tab. 3.2). Hodnocení vychází z parametrů navržených variant a je také posuzováno nakolik splňují požadavky stanovené v požadavkovém listě.

Tab. 3.4 Ohodnocení variant podle kritérií

kritérium	A	B	C
K1	4	6	6
K2	5	3	4
K3	4	6	6
K4	4	3	3
K5	6	3	3
K6	2	5	6

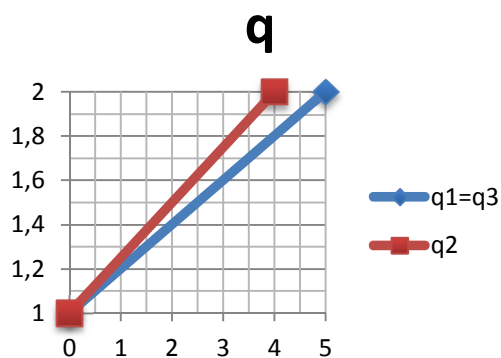
Posouzení kritérií je provedeno třemi hodnotiteli metodou trojúhelníku párů. Je to metoda, kdy se porovnávají vždy 2 kritéria a je podbarveno to s větší vahou.

Tab. 3.5 Porovnání kritérií hodnotitelem č. 1

porovnání kritérií					voleb	q
K1	K1	K1	K1	K1	2,5	1,5
K2	K3	K4	K5	K6		
	K2	K2	K2	K2	3,5	1,7
	K3	K4	K5	K6		
		K3	K3	K3	1,5	1,3
		K4	K5	K6		
			K4	K4	2	1,4
			K5	K6		
				K5	0,5	1,1
				K6	5	2

Tab. 3.6 Porovnání kritérií hodnotitelem č. 2

porovnání kritérií					voleb	q
K1	K1	K1	K1	K1	1	1,25
K2	K3	K4	K5	K6		
	K2	K2	K2	K2	2,5	1,65
	K3	K4	K5	K6		
		K3	K3	K3	2	1,5
		K4	K5	K6		
			K4	K4	3	1,75
			K5	K6		
				K5	2,5	1,65
				K6	4	2



Obr. 3.1 Graf pro stanovení významnosti kritéria

Tab. 3.7 Porovnání kritérií hodnotitelem č. 3

porovnání kritérií					voleb	q
K1	K1	K1	K1	K1	3	1,6
K2	K3	K4	K5	K6		
	K2	K2	K2	K2	3	1,6
	K3	K4	K5	K6		
		K3	K3	K3	1	1,2
		K4	K5	K6		
			K4	K4	3	1,6
			K5	K6		
				K5	0	1
				K6	5	2

Zhodnocením kritérií a přepočtem na výsledný index v grafu je možno přejít k závěrečnému hodnocení, kde je stanovena optimální varianta nejlépe splňující stanovená kritéria.

Tab. 3.8 Zhodnocení varianty A

Kritérium	A	q ₁	q ₂	q ₃	q	Vážený index
K1	4	1,50	1,25	1,60	1,45	5,80
K2	5	1,70	1,65	1,60	1,65	8,25
K3	4	1,30	1,50	1,20	1,33	5,33
K4	4	1,40	1,75	1,60	1,58	6,33
K5	6	1,10	1,65	1,00	1,25	7,50
K6	2	2,00	2,00	2,00	2,00	4,00
					Celkem	37,22

Tab. 3.9 Zhodnocení varianty B

Kritérium	B	q ₁	q ₂	q ₃	q	Vážený index
K1	6	1,50	1,25	1,60	1,45	8,70
K2	3	1,70	1,65	1,60	1,65	4,95
K3	6	1,30	1,50	1,20	1,33	8,00
K4	3	1,40	1,75	1,60	1,58	4,75
K5	3	1,10	1,65	1,00	1,25	3,75
K6	5	2,00	2,00	2,00	2,00	10,00
					Celkem	40,15

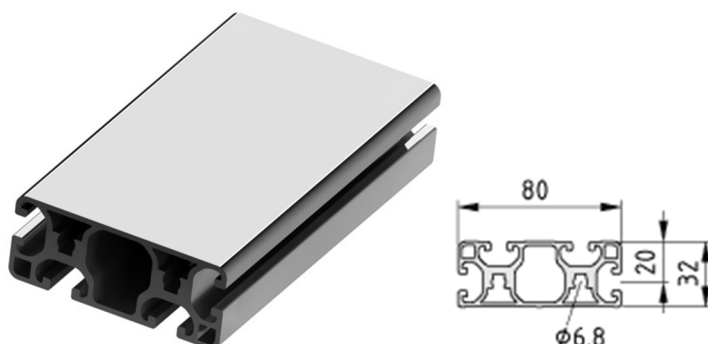
Tab. 3.10 Zhodnocení varianty C

Kritérium	C	q ₁	q ₂	q ₃	q	Vážený index
K1	6	1,50	1,25	1,60	1,45	8,70
K2	4	1,70	1,65	1,60	1,65	6,60
K3	6	1,30	1,50	1,20	1,33	8,00
K4	3	1,40	1,75	1,60	1,58	4,75
K5	3	1,10	1,65	1,00	1,25	3,75
K6	6	2,00	2,00	2,00	2,00	12,00
					Celkem	43,80

Vícekritériální analýzou vychází varianta C jako optimální a nejlépe splňuje stanovená kritéria. Tato varianta je rozpracována.

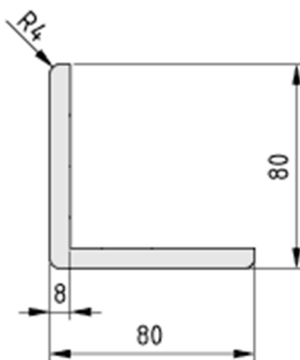
4 Detailní rozpracování vybrané varianty

4.1 Základní konstrukce



Obr. 4.1 Základní profil

Základna zásobníku je tvarovaný hliníkový profil (Obr. 4.1) o rozměrech 80 mm šířka, 32 mm výška a 150 mm délka. Profil má na bocích drážky pro zásuvné matice a také dvě drážky zespod. Na tuto základnu jsou připojeny bočnice. Bočnice jsou tvořeny profily ve tvaru L (Obr. 4.2) o rozměrech 80x80 mm a tloušťce 8 mm, délka dílu je 400 mm. Každá bočnice je připojena dvěma šrouby M6 s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem o délce 20 mm a maticemi určenými do drážky profilu. Pod hlavou šroubu se nachází podložka z důvodu možného otlačení a otěru hliníkového profilu. Pro účel tohoto spoje jsou do bočnic vyvrtány díry.



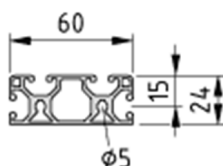
Obr. 4.2 Profil bočnice

Spojením základny a bočnic vzniká hlavní konstrukce, která je následně osazena dalšími díly. Rozměr 80 mm, což je šířka základny a tedy i vzdálenost mezi bočnicemi vymezuje prostor pro pohyblivou tlačku. Rozměr je dán průměrem hokejového puku 76,2 mm a následným výběrem nejbližší hodnoty standartního profilu [5]. Puk má tedy vůli pro pohyb necelé 2 mm z každé strany.

4.2 Tlačka pro výsuv puku

Tlačka zajišťuje dvě základní funkce zásobníku. Ve výchozí poloze, tedy blíž k dopravníku tlačka slouží jako zábrana, aby puk nevypadl do prostoru, odkud je vysouván na dopravník. To je funkce žádaná při rotaci zásobníku do požadovaného natočení. Aby puk přes tlačku hladce přejížděl, je nutné, aby byla tlačka přesně horizontálně umístěna.

Druhou funkcí je výsuv žádaného puku na dopravník. Ten probíhá ve dvou fázích. Nejprve se tlačka zasune a puk spadne do prostoru před tlačkou. Následně se tlačka vrátí do výchozí polohy a tím vysune puk na dopravník.



Obr. 4.3 Profil tlačky

Tělo tlačky je tvořeno stejným profilem (Obr. 4.3), jako je základna, jen má jiné rozměry. Šířka tlačky je 60 mm, výška 24 mm a délka 100 mm. Rozměry jsou dány – šířka 60 mm znamená v prostoru pohybu o šířce 80 mm 10 mm z každé strany pro kuličkový mikrovýsuv. Výška 24 mm vychází z výšky puku 25,4 mm a následně nejbližšího rozměru standartního profilu. Délka 100 mm je dána funkcí tlačky – přidržení dalšího puku shora. Je to tedy součet průměru puku a vzdálenosti mezi pukem a dopravníkem s nějakou rezervou. Zepředu je na tlačce plastová záslepka určená pro tento profil. Záslepka je zde z důvodu kontaktu tlačky s pukem z této strany.

Hladký chod tlačky zajišťuje z každé strany kuličkový mikrovýsuv (Obr. 4.4). Je zde použit mikrovýsuv KA 1730/200 od firmy Hettich [6] určený pro zásuvky v nábytku. Drobné vůle bude možno seřídit při montáži, není tedy nutné použití extrémně přesného průmyslového lineárního vedení, které by nebylo příznivé z cenového hlediska.

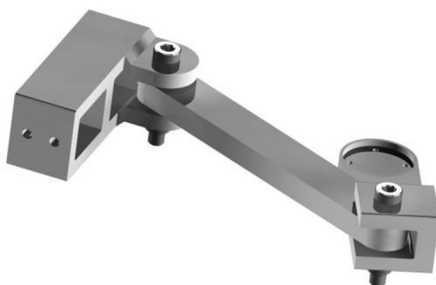
Mikrovýsuv je kratším dílem, tedy tím, který se montuje k zásuvce, připevněn k bočnici. K montáži zde slouží jeden otvor se závitem M4. Druhý otvor je potřeba vyvrtat. Do bočnice jsou vyvrtány díry, kterými jsou vedeny šrouby M4 s válcovou hlavou o délce 12 mm. Pod hlavou je opět podložka. Otvor o průměru 8 mm, který se nachází i na připojeném dílu mikrovýsuvu, slouží k montáži dílu k vnitřní části mikrovýsuvu.



Obr. 4.4 Mikrovýsuv

Šířka mikrovýsuvu je 10 mm. Mezi mikrovýsuvy je tedy prostor 60 mm pro tlačku. Ta je připojena k vnitřním dílům mikrovýsuvu. Na delším dílu jsou čtyři sady děr. Na obrázku (Obr. 4.4) je vedení delší, takže má jiný počet děr. Vždy tři díry vzdálené od sebe 9 mm, vzdálenost mezi sadami je 32 mm. Pro tlačku je využita první díra první sady a druhá díra druhé sady. Tlačka je upevněna dvěma šrouby M3 se zápustnou hlavou o délce 8 mm z každé strany. V bočních drážkách tlačky jsou matice určené pro tyto drážky.

Pohyb tlačky je zajištěn servomotorem. Rotační pohyb je převáděn na translační pohyb tlačky pomocí pákového mechanismu. Pákový mechanismus se skládá ze tří dílů realizovaných pomocí technologie 3D tisku z polykarbonátu (Obr. 4.5).



Obr. 4.5 Pákový mechanismus

První díl je přimontován k mikrovýsuvu, kde je připojena i tlačka. Díl je připojen na druhém konci vnitřního vedení. K připojení jsou využity dvě nejbližší díry ke konci mikrovýsuvu. Připojení je realizováno dvěma šrouby M3 se zápustnou hlavou o délce 12 mm, které jsou uvnitř plastového dílu zajištěny pojistnou maticí. Pod maticí je podložka. Při návrhu dílu bylo dbáno na přístupnost klíče při montáži. Díl má vidlici s mezerou 10 mm, do které je pomocí šroubu M5 s nízkou válcovou hlavou a vnitřním šestihranem o délce 30 mm a pojistné matice uchyceno táhlo, což je druhý díl pákového mechanismu.

Prostředním dílem pákového mechanismu je táhlo, které měří mezi otvory pro šrouby 100 mm. Je široké 15 mm a 8 mm vysoké. Ve vidlici má táhlo vertikální vůli 2 mm, která pokryje možné výrobní nepřesnosti.

Třetím dílem pákového mechanismu je spojení táhla se servomotorem. K servomotoru je připojen pomocí čtyř vrutů, které spojí plastový díl s výstupním kolem servomotoru. Součást je dimenzována podle rozměru mezi osou motoru a šroubem, který připojuje táhlo. Tento rozměr je 50 mm, aby při rozsahu servomotoru 180° byl vykonáván translační pohyb 100 mm. Díl má opět vidlici s mezerou 10 mm pro táhlo, které je připojeno pomocí šroubu M5 s nízkou válcovou hlavou a vnitřním šestihranem o délce 30 mm a pojistné matice.

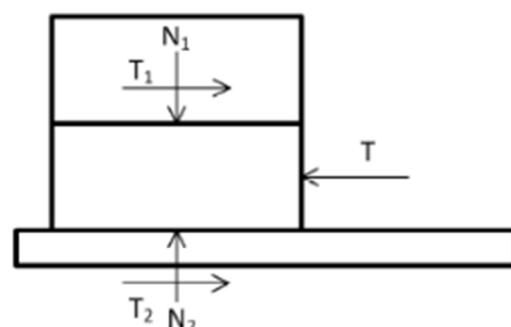
4.3 Pohon tlačky

Pohon je dimenzován tak, aby síla vyvolaná tlačkou překonala třecí síly držící puk. Puk leží na hliníkové základně, na kterou působí tíhovou silou od hmotnosti deseti puků po 170 g při plném zaplnění zásobníku. Shora na puku leží puk následující ve sloupci, ostatní puky působí tedy tíhovou silou od hmotnosti devět krát 170 g. Použité koeficienty tření jsou zjištěny pomocí experimentu v kapitole 4.3.1. Součtem těchto sil je dána výsledná třecí síla, kterou musí servomotor přes pákový mechanismus překonat. Výpočty byly zpracovány v programu Mathcad a jsou uvedeny na další straně.

Statickým řešením pohyblivé soustavy byl stanoven maximální krouticí moment, který musí servomotor vyvinout. Tato situace nastává při 90° natočení, tedy když je první díl pákového mechanismu připojený k servomotoru v poloze kolmo na směr pohybu tlačky. Výsledný moment vyšel výpočtem 0,79 Nm. Pro nalezení vhodného servomotoru byla hodnota přepočítána do jednotky kg·cm, ve které se udává moment, který modelářský servomotor dokáže vyvinout. Výsledná hodnota je 8 kg·cm. Servomotor s takovýmto momentem se už řadí mezi silnější servomotory. Je zde však i několik zástupců se standardní velikostí. S hodnotou 9,6 kg·cm při 6V napájení byl vybrán servomotor HS-645MG Ultra Torque od firmy Hitec [8] (Obr. 4.7). MG v názvu značí kovové převody. Servomotor má dvě kuličková ložiska a standardní rozsah $\pm 45^\circ$ může být rozšířen na $\pm 90^\circ$ nebo odpojením zpětnovazebního potenciometru se může volně otáčet. Pro pohon tlačky bude využíván režim natočení o $\pm 90^\circ$.

Síla potřebná pro vytlačení puku

$n := 10$	počet puků
$m := 0.17 \text{ kg}$	hmotnost puku
$g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	gravitační zrychlení
$f_1 := 0.5$	koeficient tření puk-puk
$f_2 := 0.5$	koeficient tření puk-hliník



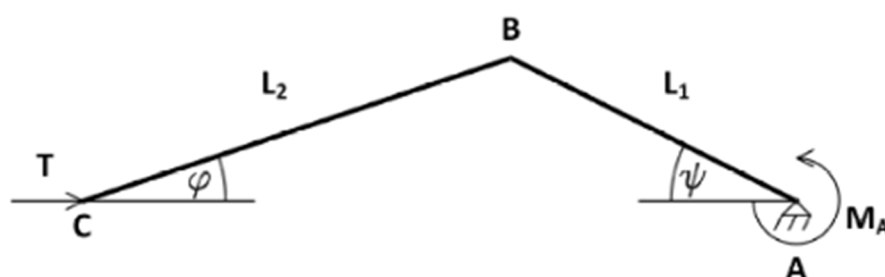
$$T = T_1 + T_2$$

$$T = N_1 \cdot f_1 + N_2 \cdot f_2$$

$$T := m \cdot g \cdot ((n-1) \cdot f_1 + n \cdot f_2) \quad \text{třecí síla, kterou je potřeba překonat} \quad (1)$$

$$T = 15.843 \text{ N}$$

Potřebný moment serva



$$L_1 := 50 \text{ mm} = 0.05 \text{ m}$$

$$L_2 := 100 \text{ mm} = 0.1 \text{ m}$$

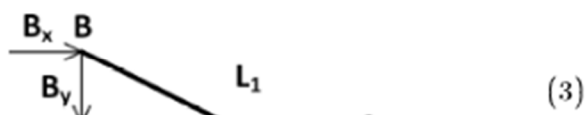
$$\psi := 90^\circ = 1.571$$

$$\varphi := \arcsin\left(\frac{L_1}{L_2} \cdot \sin(\psi)\right) = 0.524 \quad \text{úhel natočení druhého ramene} \quad (2)$$

$$\Sigma F_{1x} = B_x - A_x = 0$$

$$\Sigma F_{1y} = -B_y + A_y = 0$$

$$\Sigma M_{1A} = M_a + B_y \cdot \cos(\psi) \cdot L_1 - B_x \cdot \sin(\psi) \cdot L_1 = 0$$



(3)

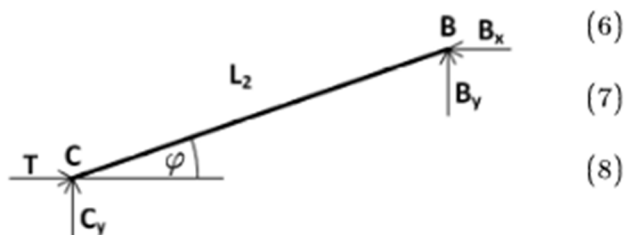
(4)

(5)

$$\Sigma F_{2x} = T - B_x = 0$$

$$\Sigma F_{2y} = B_y + C_y = 0$$

$$\Sigma M_{2C} = B_x \cdot \sin(\varphi) \cdot L_2 + B_y \cdot \cos(\varphi) \cdot L_2 = 0 \quad (8)$$



(6)

(7)

(8)

$$B_x := T = 15.843 \text{ N} \quad (9)$$

$$B_y := -B_x \cdot \frac{\sin(\varphi)}{\cos(\varphi)} = -9.147 \text{ N} \quad (10)$$

$$A_x := B_x = 15.843 \text{ N} \quad (11)$$

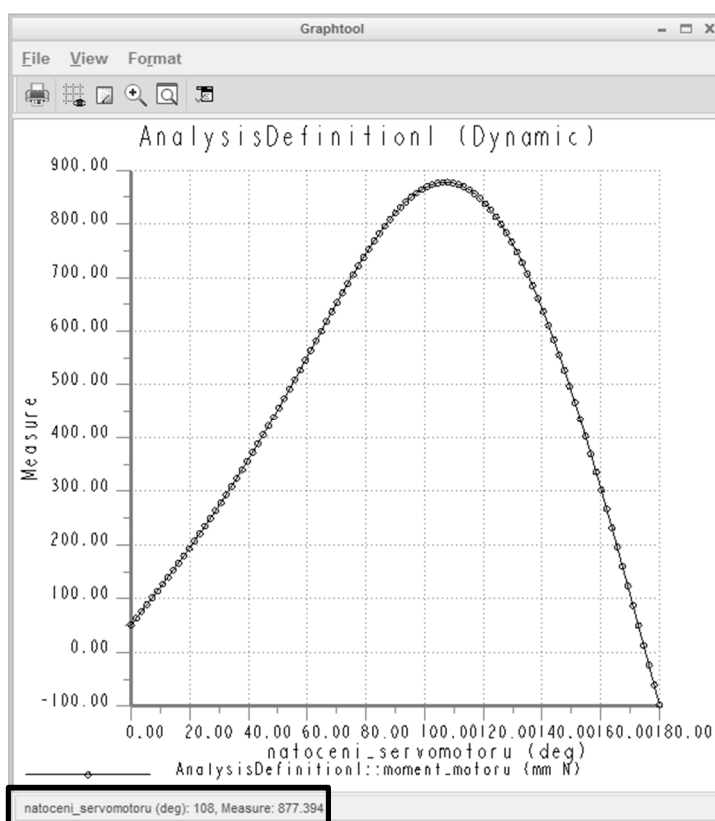
$$A_y := B_y = -9.147 \text{ N} \quad (12)$$

$$C_y := -B_y = 9.147 \text{ N} \quad (13)$$

$$M_a := B_x \cdot \sin(\psi) \cdot L_1 - B_y \cdot \cos(\psi) \cdot L_1 = 0.792 \text{ N}\cdot\text{m} \quad (14)$$

$$M_s := \frac{M_a}{g} = 8.075 \text{ kg}\cdot\text{cm} \quad (15)$$

potřebný moment serva v jednotkách, které se udávají u modelářských servomotorů



Obr. 4.6 Analýza momentu motoru v programu Creo Parametric

Výsledná hodnota byla ověřena dynamickou analýzou v programu Creo Parametric (Obr. 4.6), kde vyšel potřebný moment 0,88 Nm. Tato hodnota je v porovnání s vypočítanou hodnotou 0,79 Nm vyšší, stále však umožňuje použití vybraného servomotoru s rezervou pro ztráty ve vedení. Špička nenastala v natočení 90°, jak je uvedeno ve výpočtu, ale při 108°, protože osa motoru a vidlice táhla na tlačce nejsou v jedné rovině.



Obr. 4.7 Modelářský servomotor

Servomotor je připojen k bočnici pomocí držáku vyrobeného technologií ohýbání z pozinkovaného plechu. Servomotor má přírubu se čtyřmi dírami pro šrouby. Ke spojovacímu dílu bude tedy připojen čtyřmi šrouby M4 s válcovou hlavou o délce 12 mm, zajištěnými pojistnými maticemi. Stejným způsobem, tedy čtyřmi šrouby M4 s válcovou hlavou o délce 20 mm a pojistnými maticemi je připojen k bočnici.

4.3.1 Experimentální zjištění koeficientu tření



Obr. 4.8 Měřicí aparatura

Jelikož je do výpočtů potřebný součinitel tření mezi pukem a pukem a profilem, byl proveden experiment. Pomocí tenzometru FORCE GAUGE FG-5100 byla změřena třecí síla, ze které byl následně stanoven součinitel tření. Na obrázku (Obr. 4.8) je měřicí aparatura. Na stůl je připevněn plech. Puk je přichycen k háku tenzometru a při tahu za druhý hák je zjištěna třecí síla. Tenzometr je přepnut do režimu zachycení špičky a rychlé odezvy, aby bylo měření co nejpřesnější. Na displeji je možné odečíst maximální třecí sílu v Newtonech.

Byla provedena celkem čtyři různá měření. Prvním měřením byla zjištěna tíhová síla od hmotnosti puku. Výsledek byl 1,6 N u všech plných puků a 1,2 N u puků odvrtných. V dalších třech případech byla desetkrát odečtena naměřená hodnota. Druhé měření zjišťovalo koeficient tření mezi plným pukem a plechem. Výsledky měření jsou v tabulce (Tab. 4.1). V prvním sloupci jsou hodnoty pro jeden puk, ve druhém sloupci pro dva puky ležící na sobě a ve třetím sloupci jsou puky na sobě tři. Z deseti hodnot je aritmetickým průměrem vypočítána průměrná hodnota. Následně je použit vzorec pro výpočet součinitele tření (16), kde normálová síla (17) je tíhová síla puků vynásobená jejich počtem. Dosazením průměrných hodnot do výsledného vzorce (18), získáme koeficient tření.

$$T = N \cdot f \quad (16)$$

$$N = G \cdot n \quad (17)$$

$$f = \frac{T}{G \cdot n} \quad (18)$$

Tab. 4.1 Měření koeficientu tření puk – plech

	1	2	3
1	0,8 N	1,2 N	1,8 N
2	0,8 N	1,0 N	1,6 N
3	0,8 N	1,0 N	1,6 N
4	0,8 N	1,2 N	1,6 N
5	0,4 N	1,2 N	1,8 N
6	0,8 N	1,2 N	1,6 N
7	0,8 N	1,2 N	1,6 N
8	0,6 N	1,0 N	1,8 N
9	1,0 N	1,2 N	1,8 N
10	0,6 N	1,0 N	1,8 N
Průměr	0,74 N	1,12 N	1,70 N

$$f_1 = \frac{0,74}{1 \cdot 1,6} = 0,46 \quad (19)$$

$$f_2 = \frac{1,12}{2 \cdot 1,6} = 0,35 \quad (20)$$

$$f_3 = \frac{1,70}{3 \cdot 1,6} = 0,35 \quad (21)$$

$$f = \frac{f_1 + f_2 + f_3}{3} = \mathbf{0,39} \quad (22)$$

Zprůměrováním všech naměřených hodnot vychází koeficient tření mezi pukem a plechem 0,39.

Třetí měření zkoumá koeficient tření mezi dvěma plnými puky. Na podložku byl postaven puk, tak aby se nehýbal. Na tento puk byl položen další puk, za který bylo taháno tenzometrem. Opět zde bylo provedeno měření pro jeden, dva a tři puky. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce (Tab. 4.2).

Tab. 4.2 Měření koeficientu tření puk – puk

	1	2	3
1	0,8 N	1,6 N	2,4 N
2	0,6 N	1,4 N	2,0 N
3	0,8 N	1,4 N	2,0 N
4	1,0 N	1,2 N	2,2 N
5	0,6 N	1,6 N	2,4 N
6	0,6 N	1,4 N	2,0 N
7	1,0 N	1,6 N	1,8 N
8	1,0 N	1,4 N	2,2 N
9	1,0 N	1,4 N	2,4 N
10	0,8 N	1,2 N	2,2 N
Průměr	0,82 N	1,42 N	2,16 N

$$f_1 = \frac{0,82}{1 \cdot 1,6} = 0,51 \quad (23)$$

$$f_2 = \frac{1,58}{2 \cdot 1,6} = 0,44 \quad (24)$$

$$f_3 = \frac{2,34}{3 \cdot 1,6} = 0,45 \quad (25)$$

$$f = \frac{f_1 + f_2 + f_3}{3} = \mathbf{0,47} \quad (26)$$

Postup výpočtu je stejný jako u prvního měření. Koeficient tření mezi dvěma puky je 0,47.

Poslední měření bylo kontrolní, vycházející ze situace, která nastává v zásobníku. Ze sloupce čtyř puků položených na plechu byl vytahován spodní puk. Ostatní tři puky jsou zabrzděny. Při vytahování působí proti tenzometru třecí síla vznikající mezi pukem a plechem a také mezi pukem a druhým pukem, který na něm leží. Výsledek měření je v tabulce (Tab. 4.3). Kontrolní výpočet počítá sílu, která vzniká pod váhou čtyř puků na plech a zároveň tří puků na spodní puk.

Tab. 4.3 Kontrolní měření

	3+1
1	4,4 N
2	5,0 N
3	5,2 N
4	5,0 N
5	5,0 N
6	4,8 N
7	4,4 N
8	4,2 N
9	5,0 N
10	4,4 N
Průměr	4,74 N

$$T = G \cdot [(n - 1) \cdot f_{puky} + n \cdot f_{plech}] \quad (27)$$

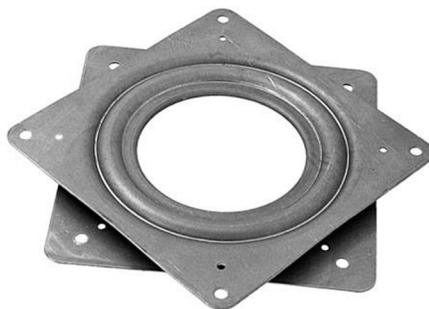
$$T = 1,6 \cdot [(4 - 1) \cdot 0,47 + 4 \cdot 0,39] \quad (28)$$

$$T = \mathbf{4,75N} \quad (29)$$

Vypočítaná hodnota vyšla téměř stejně jako experimentálně zjištěná, při dosazení nezaokrouhlených čísel se shodovala dokonce i setina. Ve výpočtu můžou být tedy použity nalezené hodnoty. Z důvodu možného znečištění puků a vytvoření rezervy je do výpočtu použit pro všechny stykové plochy koeficient 0,5. Měření bylo provedeno i u odvrtných puků, výsledky byly však podobné.

4.4 Připojení rotačního zásobníku

Na základní konstrukci s tlačkou leží nejprve 2 mm tlustý ocelový plech. Plech je kulatý o průměru 320 mm. Do plechu je vytvořen prostor pro pohyb tlačky a vyvrtány tři díry pro připojení pomocí šroubového spoje. Plech slouží k vytvoření plochy pro klouzání puků, které jsou umístěny v zásobnících. Plech je podpírán bočnicemi, aby se neohnul pod tlakem puků. Na plechu je položena kulatá hliníková deska o průměru 130 mm a výšce 5 mm, sloužící jako rovnoměrná podpora pro ložisko, které je na ní shora připevněné.



Obr. 4.9 Ložisko Lazy Susan

Prvkem, který zajišťuje hladkou rotaci zásobníků bez nadměrného tření, je speciální kuličkové ložisko typu Lazy Susan [9] (Obr. 4.9). Ložisko je určené pro otočné stoly nebo různé podstavce. Opět jako u kuličkového vedení tlačky by mohlo být použito průmyslové axiální ložisko. Důvody použití tohoto ložiska jsou opět cenová příznivost, dostačující přesnost, ale také vhodné připojovací rozměry přírub ložiska ke konstrukci. Ložisko je určeno pro pomalou rotaci a občasný provoz, tak také bude využíváno, není tedy nutné ho kontinuálně mazat, ale je zapotřebí ložisko promazat vhodným mazivem, které nechytá prach a jiné nečistoty z okolí.

Ložisko se čtvercovou základnou se prodává ve třech základních velikostech 80 mm, 100 mm a 150 mm, což odpovídá 3, 4 a 6 palcům. Optimální svými rozměry je pro tuto konstrukci ložisko s délkou strany čtvercové příruby 100 mm. Ložisko je tvořeno dvěma tvarovanými ocelovými přírubami, které jsou spojeny lemem, který drží ložisko pohromadě, když není zatíženo. Valivými tělísky jsou kuličky, které se odvalují v drážkách přírub. Nosnost ložiska je 90 kilogramů. I když se nejedná o standardní strojní součást, je k dispozici výkresová dokumentace tohoto ložiska. Připojovací rozměry jsou tedy navrženy podle této dokumentace.

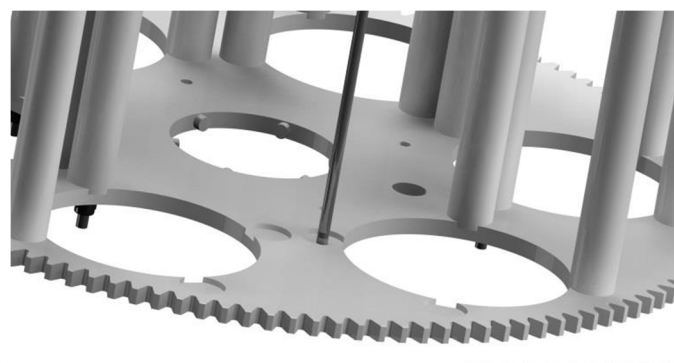
Každá příruba má 4 díry pro šrouby, jedna z přírub má navíc 4 menší díry pro samořezné šrouby, ty však nebudou využity. Ložisko je k základní konstrukci připojeno pomocí dvou šroubů M4 s válcovou hlavou o délce 25 mm. Tyto šrouby procházejí dolní přírubou ložiska, kruhovou hliníkovou deskou, ocelovým plechem a bočnicí, pod níž jsou zajištěny pojistnou maticí. Pod maticí je podložka. Pro zvýšení tuhosti je zde ještě třetí šroub M4 s válcovou hlavou o délce 8 mm, který je zamontován do závitu vytvořeného v ocelovém plechu. Ke druhé přírubě ložiska jsou připojeny zásobníky.

4.5 Zásobníky

U konstrukce zásobníků bylo dbáno na jednoduchost a co nejnižší hmotnost. Vzhledem k nejmenším možným rozměrům daným rozměry ložiska a dispozicí základny s tlačkou může být zásobník dimenzován na 6 sloupců pro puky, které jsou rozmístěny po 60° v kruhovém zásobníku.



Obr. 4.10 Zásobníky



Obr. 4.11 Uchytení trubek

Základnu zásobníku tvoří hliníková deska o průměru 330 mm a výšce 6 mm. Na poloměru 110 mm je po 60° vyfrézováno šest otvorů o průměru 80 mm. Tento otvor je dimenzován podle průměru puku, který jím prochází. Ve středu desky je otvor o průměru 60 mm. Tento otvor je odlehčovací. Pro trubky držící puky svisle nad sebou jsou do desky vyfrézovány drážky (Obr. 4.11). Tyto drážky jsou na poloměru 47 mm vzhledem k otvoru pro puk. Kolem každého otvoru pro puk jsou čtyři drážky po 90° . Drážky mají průměr 16 mm a hloubku 2 mm. V šesti z dvanácti vnitřních drážek zásobníku jsou otvory pro závitové tyče. Do desky jsou na průměru 114,5 mm od středu vyvrtány dvě díry po 180° o průměru 10 mm pro montáž zásobníku k základní konstrukci.

Puky visle nad sebou drží v žádané pozici trubky používané pro rozvod vody. Trubky jsou zvoleny pro nízkou hmotnost a dostatečnou tuhost. Zde je použito 24 PPR trubek o vnějším průměru 16 mm a tloušťce stěny 2,7 mm. Délka jedné trubky je 250 mm. Trubky drží tvarovým stykem v drážkách vyfrézovaných do základny. Trubky vymezují prostor pro pohyb puků o průměru 78 mm.

Horní díl tvoří opět hliníková deska o průměru 320 mm a výšce 6 mm. Stejně jako na spodní desce je zde na poloměru 110 mm šest otvorů o průměru 80 mm. Středový odlehčovací otvor má větší průměr 130 mm. Drážky pro trubky jsou také stejné jako na spodní desce.

Obě hliníkové desky jsou staženy k sobě celkem šesti závitovými tyčemi M4 o délce 280 mm. Na každé straně je závitová tyč zajištěna pojistnou maticí. Pod maticemi jsou podložky. Závitové tyče jsou vedeny trubkami. Stažením horního a dolního dílu k sobě je zajištěno zamknutí trubek v tvarových zámcích.

Zásobník je připojen k ložisku čtyřmi šrouby M4 s válcovou hlavou o délce 16 mm. Šrouby procházejí přírubou ložiska a spodní deskou zásobníku. Shora jsou zajištěny pojistnými maticemi. Pod každou maticí je umístěna podložka.

4.6 Pohon zásobníku

Pohon je realizován servomotorem. Dimenzování pohonu je opět provedeno v programu Mathcad. Pro kontinuální chod je servomotor upraven odpojením zpětnovazebného potenciometru. Nelze tedy zjišťovat polohu zásobníku servomotorem, ale je třeba ji získávat pomocí snímače.

Pohon je dimenzován tak, aby byla překonána třecí síla vznikající mezi sloupci puků a ocelovým plechem, po kterém puky kloužou. Výpočet je prováděn pro nejméně příznivou situaci, tedy plné obsazení zásobníku šedesáti puky. Šedesát puků dohromady váží 10,2 kilogramů. Puky vyvozují brzdňý moment 5,5 Nm. Pro převod krouticího momentu je dolní deska zásobníku opatřena ozubením. Na servomotoru je pastorek vyrobený technologií 3D tisku. Převodový poměr je dán počty zubů, kde na zásobníku je 130 zubů a pastorek má zubů 17. Výsledný převodový poměr je tedy 7,65. Servomotor tedy musí vyvinout moment 0,72 Nm, což je hodnota podobná výkonu servomotoru pro tlačku a může být využit stejný servomotor.

Dimenzování ozubení

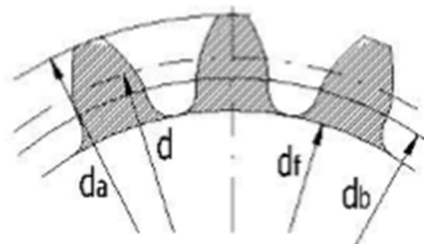
Kolo

$d_{2'} := 320 \text{ mm}$ počáteční roztečný průměr podle průměru zásobníku

$d_{2'} = m \cdot z_{2'}$ volba modulu ze standardní řady $m := 2.5 \text{ mm}$

$z_{2'} := \frac{d_{2'}}{m} = 128$ volba počtu zubů $z_2 := 130$ (30)

$\alpha := 20^\circ$ záběrový úhel



$d_2 := m \cdot z_2 = 325 \text{ mm}$ průměr roztečné kružnice (31)

$d_{2a} := d_2 + 2 \cdot m = 330 \text{ mm}$ průměr hlavové kružnice (32)

$d_{2b} := d_2 \cdot \cos(\alpha) = 305.4 \text{ mm}$ průměr základní kružnice (33)

$d_{2f} := d_2 - 2.5 \cdot m = 318.75 \text{ mm}$ průměr patní kružnice (34)

$\rho_2 := 0.38 \cdot m = 0.95 \text{ mm}$ zaoblení paty (35)

Pastorek

$m = 2.5 \text{ mm}$ hodnoty modulu a záběrového úhlu stejné jako u kola

$\alpha = 20^\circ$

$z_1 := 17$ minimální doporučený počet zubů pro čelní ozubení

$d_1 := m \cdot z_1 = 42.5 \text{ mm}$ průměr roztečné kružnice (36)

$d_{1a} := d_1 + 2 \cdot m = 47.5 \text{ mm}$ průměr hlavové kružnice (37)

$d_{1b} := d_1 \cdot \cos(\alpha) = 39.937 \text{ mm}$ průměr základní kružnice (38)

$d_{1f} := d_1 - 2.5 \cdot m = 36.25 \text{ mm}$ průměr patní kružnice (39)

$\rho_1 := 0.38 \cdot m = 0.95 \text{ mm}$ zaoblení paty (40)

Převodový poměr

$i := \frac{z_2}{z_1} = 7.647$ (41)

Dimenzování pohonu zásobníku

$n := 60$	maximální počet puků
$m := 0.17 \text{ kg}$	hmotnost puku
$f := 0.5$	koefficient tření mezi pukem a ocelovým plechem
$g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	gravitační zrychlení



$$T := m \cdot g \cdot n \cdot f = 50.031 \text{ N} \quad \text{třecí síla, kterou je potřeba překonat} \quad (42)$$

$$r := 110 \text{ mm} = 0.11 \text{ m} \quad \text{poloměr, na kterém jsou puky v zásobníku}$$

$$M_T := T \cdot r = 5.503 \text{ N} \cdot \text{m} \quad \text{třecí moment, který vytvářejí puky} \quad (43)$$

$$J := 1.53 \cdot 10^5 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2 \quad \text{moment setrvačnosti plného zásobníku zjištěný v programu Creo (Obr. 4.12)}$$

$$\varphi := 60^\circ = 1.047 \quad \text{hodnoty pro požadovanou rychlost natočení}$$

$$t := 2 \text{ s}$$

$$\omega := \frac{\varphi}{t} = 0.524 \frac{1}{\text{s}} \quad \text{rychlost otáčení} \quad (44)$$

$$\varphi_r := 0.1 \cdot \varphi \quad \text{rozběhová dráha 10\%}$$

$$\varepsilon := \frac{1}{2} \frac{\omega^2}{\varphi_r} = 1.309 \frac{1}{\text{s}^2} \quad \text{zrychlení} \quad (45)$$

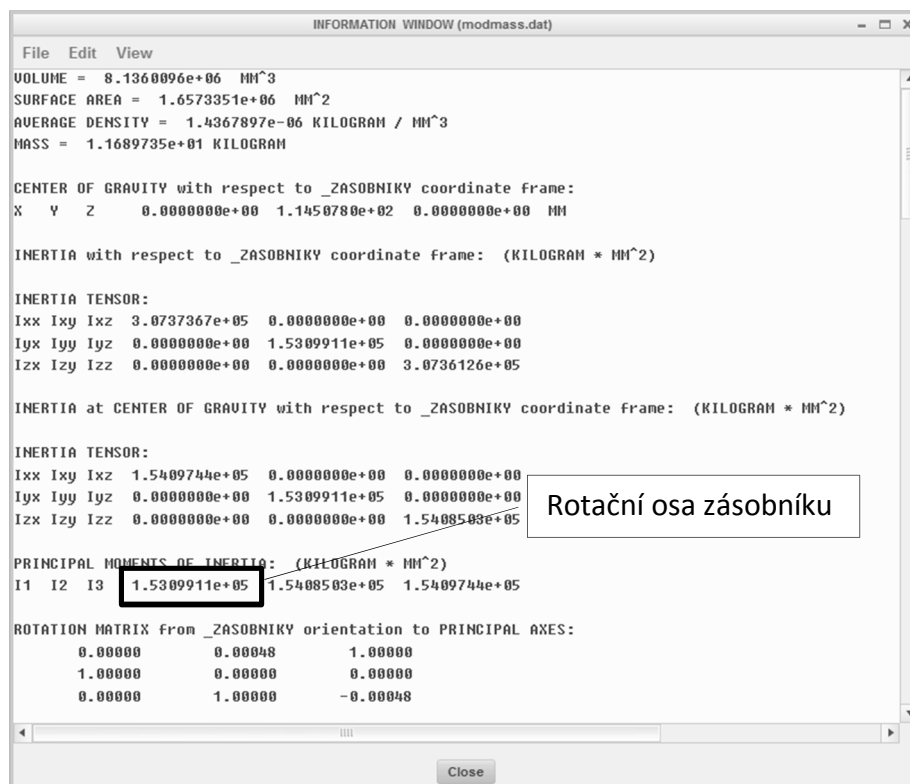
$$M_D := J \cdot \varepsilon = 0.2 \text{ N} \cdot \text{m} \quad \text{dynamický moment} \quad (46)$$

$$M_M := \frac{M_T + M_D}{i} = 0.746 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (47)$$

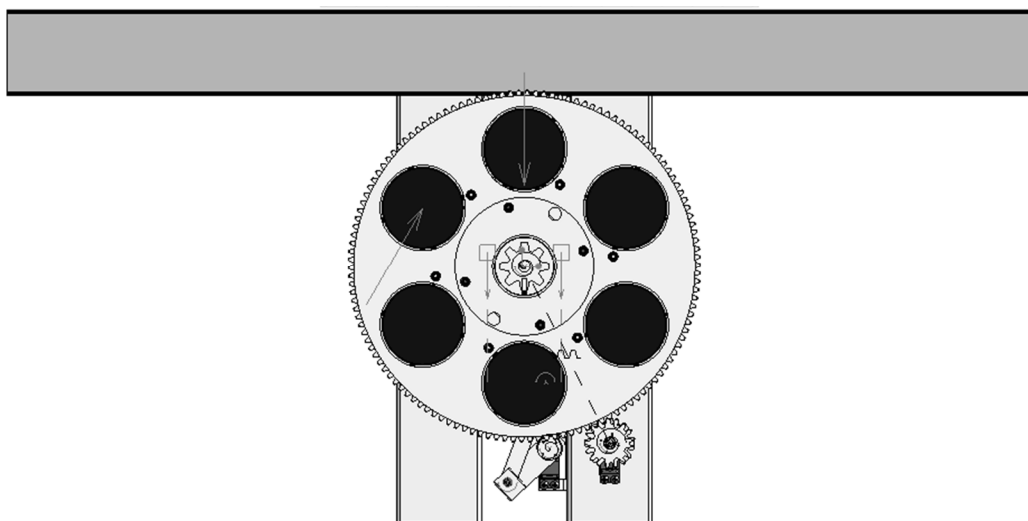
$$M_S := \frac{M_M}{g} = 7.603 \text{ kg} \cdot \text{cm} \quad \text{potřebný moment serva v jednotkách, které se udávají u modelářských servomotorů} \quad (48)$$

$$\omega_M := \omega \cdot i = 4.004 \frac{1}{\text{s}} \quad \text{rychlost servomotoru} \quad (49)$$

$$t := \frac{\varphi}{\omega_M} = 0.262 \text{ s} \quad \text{operační rychlost servomotoru je } 60^\circ \text{ za } 0.2 \text{ s bez zátěže} \quad (50)$$

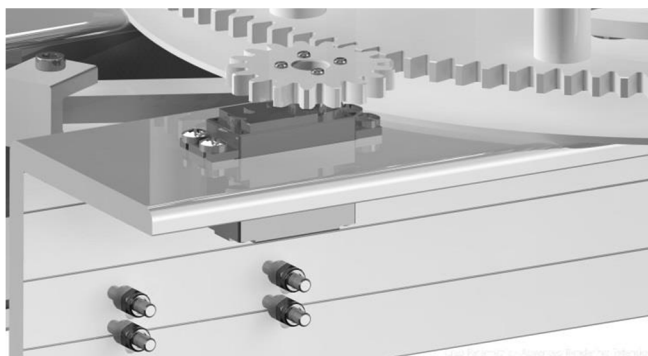


Obr. 4.12 Moment setrvačnosti zásobníků



Obr. 4.13 Nastavení mechanismů v programu Creo Parametric

Výsledná hodnota byla opět ověřena v programu Creo Parametric. Moment servomotoru potřebný pro pohon zásobníku vyšel z dynamické analýzy 0,72 Nm, což je hodnota, v porovnání s vypočítaným momentem 0,75 Nm, nižší.

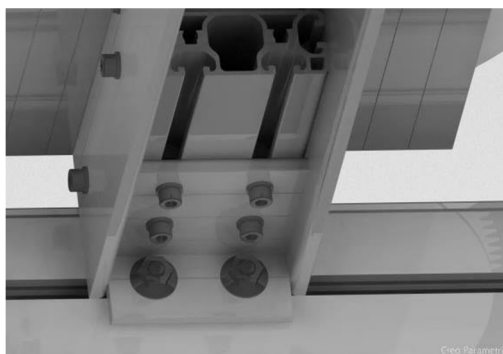


Obr. 4.14 Pohon zásobníku

Pro upevnění servomotoru je v bočnici vyfrézovaná díra. Servomotor má přírubu se čtyřmi dírami pro šrouby, je tedy k bočnici připojen čtyřmi šrouby M4 s válcovou hlavou o délce 20 mm a pojistnými maticemi. Pod maticemi jsou podložky.

4.7 Připojení zásobníku k dopravníku

Zásobník je připojen k dopravníku profilem tvaru L o rozměrech 80x40 mm a délce 80 mm. Do delšího ramene profilu jsou vyvrtány čtyři díry pro uchycení k základovému profilu zásobníku, který má zespod drážku. Profil je připojen čtyřmi šrouby M6 s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem a maticemi speciálně určenými do drážky profilu. Pod hlavou šroubu je podložka.



Obr. 4.15 Připojení k dopravníku

Do kratšího ramene profilu jsou vyvrtány dvě díry pro připojení profilu k dopravníku. Dopravník je tvořen profilem s drážkou, do které jsou vsazeny dva speciální šrouby M8 pro tuto drážku. Šrouby procházejí spojovacím profilem a jsou utaženy maticemi s integrovanou podložkou.

4.8 Podpůrná noha

Aby veškerá váha zásobníku nebyla nesena pouze dvěma šrouby připojujícími zásobník k dopravníku, je k zadní části přimontována podpůrná noha. Nohu tvoří hliníkový profil o rozměrech 40x40 mm, délka profilu je 630 mm. Na konci je v profilu vnitřní závit M8, do kterého je zamontovaná nastavitelná noha o délce 80 mm. Výška zásobníku nad zemí by měla být 690 mm, ale přesnou pozici lze nastavit šroubovací nohou.

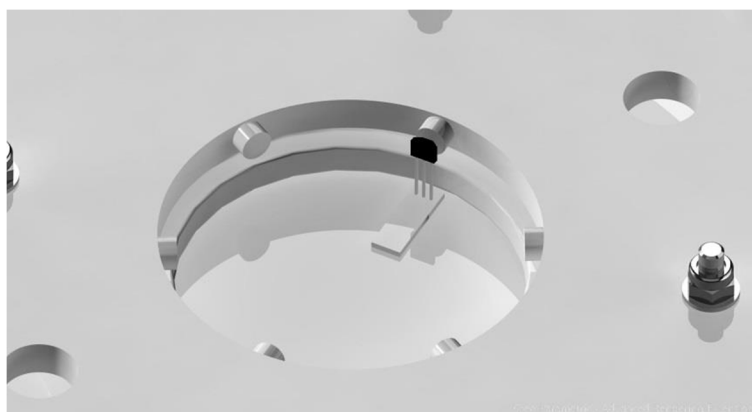
Noha je přimontována k levé bočnici, kde jsou navrtány dvě díry pro šrouby M6 s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem o délce 20 mm. Pod hlavou je podložka. Speciální matice jsou zasunuty do drážky profilu.



Obr. 4.16 Podpůrná noha

4.9 Snímač pro zjištění natočení stolu

Je zapotřebí snímat, jestli je zásobník natočen tak, aby při zasunutí tlačky vypadl do prostoru před tlačku žádaný puk. Ke zjištění pozice je použita Hallova sonda [10]. Hallova sonda zaznamená přítomnost magnetického pole. Zde je použita sonda snímající jak jižní, tak severní pól magnetu.



Obr. 4.17 Senzor natočení zásobníku



Obr. 4.18 Hallova sonda

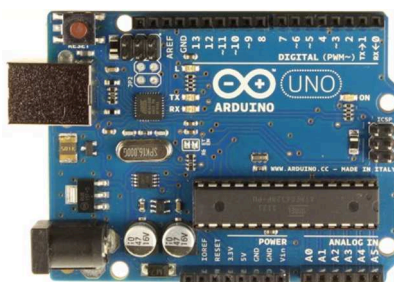
Na dolní desce otočného zásobníku je nalepeno 5 magnetů po 60° tak, aby odpovídaly pozici puků, natočené severním pólem do středu. Ve stejné výšce na hliníkové desce pod ložiskem je umístěna Hallova sonda, která generuje Hallovo napětí při přítomnosti severního pólu magnetu. Sonda je připojena do řídicí jednotky. Když není v blízkosti sondy magnet, je na výstupu referenční napětí. Při detekci severního pólu magnetu dochází ke snížení napětí na výstupu sondy. Řídicí jednotka tuto změnu zaznamená a zastaví motor, otáčející se zásobníkem.

Šestý magnet s opačným, tedy jižním pólem je nalepen na neobsazené pozici zásobníku. Tento sloupec puků bude referenčním zásobníkem číslo 1. Sonda je v tomto případě využita pro nalezení takzvané – Home position – tedy počáteční výchozí polohy. Při detekci jižního pólu touto sondou se na výstupu napětí zvyšuje.

Sonda je připojena k analogovému vstupu řídicí jednotky, která vyhodnocuje úbytek/nárůst napětí a při dosažení žádaných hodnot zastaví otáčení zásobníku. Postupná změna může být využita k plynulému dobřování.

4.10 Řídicí jednotka

K řízení je použita cenově příznivá jednotka Arduino UNO [11]. Je to open-source platforma založená na mikroprocesoru Atmel. Řídicí jednotka se dá připojit USB kabelem k počítači a pomocí volně dostupného programu a knihoven naprogramovat. Instrukce se nahrají do paměti a jednotka pak funguje bez připojení k počítači.



Obr. 4.19 Řídicí jednotka

Na desce se nacházejí analogové vstupy, z nichž jeden je využit pro data získávaná z Hallovy sondy. Na digitální vstupy je napojen tlačítkový panel a signál z řídicí jednotky dopravníku, jestli je v pohybu. PWM výstupy jsou využity k ovládání obou servomotorů.

Jednotka je uložena v plastové krabici přimontované k jedné z bočnic.

4.11 Napájení

Servomotory jsou napájeny napětím 6 V pro dosažení žádaného krouticího momentu. Z konstrukce zásobníku vyplývá, že je vždy v provozu pouze jeden servomotor. Špičkový odběr proudu při zablokování může přesahovat 1,5 A. Spotřeba řídicí jednotky a dalších komponent nepřesáhne 200 mA. Pro řídicí jednotku Arduino UNO je doporučené napájení napětím 7-12 V. Je tedy nutné vybrat optimální zdroj napětí.



Obr. 4.20 Napájecí adaptér

4.12 Tlačítkový panel

Tlačítkový panel slouží k ovládání zásobníku. Je propojen kabelem s řídicí jednotkou. Plastová krabice o rozměrech 150 x 110 x 70 mm je osazena tlačítky pro výsun jednotlivých puků, bezpečnostním tlačítkem STOP, vypínačem a funkčními tlačítky pro předprogramované módy, jako je automatické roztřídění puků, náhodný výběr nebo plnění zásobníků.

5 Montážní postup

V montážním postupu jsou v závorkách uváděny pozice ze sestavného výkresu VYS0016-BP-00 (Příloha A).

1. Přimontovat kratší díl lineárního vedení (19) ke každé z bočnic (9,10) pomocí šroubů (37) s podložkou (29). Šrouby nedotahovat.
2. Přimontovat držák servomotoru (4) k pravé bočnici (9) pomocí šroubů (39) a matic (34) s podložkou (29).
3. Nasunout matice (26) do spodních drážek základního profilu (12) a pomocí šroubů (41) s podložkami (33) přichytit profil sloužící k připojení k dopravníku (8). Šrouby nedotahovat.
4. Nasunout matice (26) do bočních drážek základního profilu (12) a pomocí šroubů (41) s podložkami (33) přimontovat obě bočnice (9,10). Dotáhnout šrouby z předchozí operace.
5. Nasunout matice (25) do bočních drážek profilu tlačky (11). Pomocí šroubů (30) přimontovat tlačku k lineárnímu vedení (19) skrz montážní otvory v bočnicích.
6. Přišroubovat první díl pákového mechanismu (6) k lineárnímu vedení (19) pomocí šroubů (32) a matic (31) s podložkou (27).
7. Nasadit krytku tlačky (14).
8. Přimontovat druhý díl pákového mechanismu (6) pomocí šroubu (40) a matice (35).
9. Naskládat vodící trubky (18) mezi spodní (3) a horní (2) hliníkovou desku. Stáhnout k sobě závitovými tyčemi (24) a maticemi (34) s podložkami (29).
10. Nalepit magnety (16) do otvoru spodní desky (3).
11. Přimontovat ložisko (20) ke spodní desce zásobníku (3) pomocí šroubů (38) a matic (34) s podložkami (29).
12. Přiložit k bočnicím shora plech (5), hliníkovou desku (1) a zásobníky s ložiskem (20). Vše přimontovat k bočnicím šrouby (42) a maticemi (34) s podložkami (29) skrz montážní otvory ve spodní desce zásobníku (3).

13. Šroubem (36) přišroubovat ložisko (20) k plechu (5) skrz montážní otvor ve spodní desce zásobníku (3).
14. Seřídít vertikálně tlačku, aby byla co nejvýše a nedotýkala se profilu nad ní.
Dotáhnout šrouby z operace č. 1.
15. Zkontrolovat správnou funkci pohybu tlačky a její schopnost dosažení pracovních poloh.
16. Přimontovat třetí díl pákového mechanismu (6) k servomotoru pro pohon tlačky (21) pomocí vrutů (28).
17. Přišroubovat servomotor pro pohon tlačky (21) k držáku (4) pomocí šroubů (37) a matic (34).
18. Spojit třetí díl pákového mechanismu (6) s druhým za pomoci šroubu (40) a matice (35).
19. Přimontovat servomotor pro pohon zásobníku (22) k bočnici (9) pomocí šroubů (39) a matic (34) s podložkami (29).
20. Přimontovat pastorek (7) k servomotoru (22) pomocí vrutů (28).
21. Nasunout matice (26) do profilu podpůrné nohy (13) a připojit šrouby (41) s podložkami (33) k bočnici (10).
22. Nasadit krytku (15) na konec profilu a zašroubovat nastavitelnou nohu (23).
23. Osadit Hallovu sondu (17) a ostatní elektroniku na konstrukci.

Vždy před zapnutím zásobníku zkontrolovat, jestli není nějaký puk vzpříčený a tlačka je ve výchozí poloze.

6 Souhrn technických parametrů



Obr. 6.1 Zásobník umístěný na pracovišti

Tab. 6.1 Technické parametry

Hmotnost	9 kg
Rozměry (v x š x h)	(984,5 mm x 330 mm x 405 mm)
Kapacita	6 x 10 hokejových puků
Doba otočení zásobníku o 1 pozici	2 s
Doba vysunutí tlačky	1 s
Zdroj energie	Elektřina 230 V

7 Závěr

Na základě analýzy pracoviště a demonstrační úlohy třídění puků byly stanoveny požadavky pro konstrukci zásobníku. Podle požadavků byly navrženy tři různé způsoby řešení, které se liší použitými pohony a prostorovým uspořádáním zásobníku.

Vícekritériální analýzou bylo vybráno řešení s rotačním zásobníkem. Tato varianta má nejlepší poměr počtu puků k hmotnosti a zástavbovému prostoru.

Vybraná varianta byla detailně rozpracována do úrovně 3D modelu. Při výrobě několika součástí je využíváno technologie 3D tisku. Pohony jsou vybrány na základě výpočtů ověřených v softwaru Creo Parametric. Pro určení zátěžné síly byl experimentálně ověřen koeficient tření mezi puky a plechem. K zásobníku je navržen také snímač, nutný k zjišťování natočení zásobníku, řídicí jednotka a komunikace s uživatelem.

Byl vytvořen montážní postup odkazující se na přiložený sestavný výkres zásobníku.

9 Zdroje informací

- [1] SKAŘUPA, J.; MOSTÝN, V. Metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů. 1. vydání. Košice: Viena Košice, 2002. 190 s.
ISBN 80-88922-55-0
- [2] BOSCH REXROTH. Systém VarioFlow S [online][cit. 2012-10-03] Dostupné z:
http://www.boschrexroth.com/business_units/brl/en/produkte/material-infoflusstechnik/varioflow_s/index.jsp
- [3] CONVEYOR STATION. Výukový dopravníkový systém [online][cit. 2012-10-05]
Dostupné z: <http://www.indiamart.com/technosysystems/robotics-systems-mechatronics-lab-and-instruments.html>
- [4] LEINVEBER, J., ŘASA, J., VÁVRA, P. Strojnické tabulky. Scientia spol. s.r.o, 1999, ISBN 80-7813-164-6.
- [5] HABERKORN ULMER. Systém hliníkových profilů [online][cit. 2013-04-15]
Dostupné z: <http://www.haberkorn.cz/system-hlinikovych-profilu/>
- [6] HETTICH. Kuličkové výsuvy [online][cit. 2013-04-15] Dostupné z:
http://www.hettich.com/cz_CS/vyrobky/vysuvy-pro-zasuvky.html
- [7] STATIKA. E-learning, kolektiv autorů [online][cit. 2013-03-12] Dostupné z:
http://www.337.vsb.cz/materialy/Milada_statika_1st/links/kapitoly/07/staticke_rese_ni_pohyblivych.htm
- [8] SERVOCITY. Servomotor HS-645MG [online][cit. 2013-04-15] Dostupné z:
http://www.servocity.com/html/hs-645mg_ultra_torque.html
- [9] TRIANGLE. Ložisko Lazy Susan [online] [cit. 2013-04-05] Dostupné z:
<http://www.triangleoshkosh.com/eng/products/lazy-susan-bearings/lazy-susan-bearings>
- [10] GM ELECTRONIC. Hallova sonda [online][cit. 2013-04-15] Dostupné z:
<http://www.gme.cz/dokumentace/533/533-005/dsh.533-005.1.pdf>
- [11] ARDUINO. Multifunkční řídicí deska s mikroprocesorem [online][cit. 2012-10-08]
Dostupné z: <http://arduino.cc/en/Main/Hardware>

10 Seznam příloh

A. Sestavný výkres s kusovníky

- VYS0016-BP-00
- VYS0016-BP-00K

B. Výrobní výkres držáku servomotoru

- VYS0016-BP-01

C. CD s 3D modelem